

Mit Wagenschein zur Lehrkunst

**Gestaltung, Erprobung und Interpretation dreier
Unterrichtsexempel zu Physik, Chemie und Astro-
nomie nach genetisch-dramaturgischer Methode.**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
des Fachbereiches Erziehungswissenschaften
der Philipps-Universität Marburg/Lahn

vorgelegt von
Ueli Aeschlimann
aus Bern

Marburg/Lahn 1999

Inhaltsverzeichnis

1. <u>Einleitung und Fragestellung</u>	5
1.1. Zusammenfassung der vorliegenden Arbeit	5
1.2. Mit Wagenschein zur Lehrkunst - Zusammenfassung der Grundlagen	6
1.2.1. Die Didaktik von Wagenschein	6
1.2.2. Auf dem Weg zur Lehrkunstdidaktik	8
1.2.3. Die Lehrkunstdidaktik von Berg/Schulze	8
1.3. Leitfrage	14
2. <u>„Pascals Barometer“ - ein erstes Lehrstück</u>	15
2.1. Vorlage: Die Wurzeln des Barometer-Lehrstücks bei Wagenschein	16
2.2. <u>Unterrichtsbericht</u>	21
2.2.1. Vom Bierglas zum Barometer	22
2.2.2. Erster Zwischenhalt	26
2.2.3. Vom Luftdruck zur Barometerformel	29
2.2.4. Die Demonstration des Luftdrucks	33
2.2.5. Zweiter Zwischenhalt	35
2.2.6. Luftdruck und Wetter	35
2.2.7. Rückblick	37
2.2.8. Vergleich der Inszenierungen 95, 98 und 99	38
2.2.9. Rückmeldungen zur zweiten Inszenierung	40
2.2.10. Lernkontrolle nach der dritten Inszenierung	41
2.3. <u>Didaktische Interpretation</u>	45
2.3.1. Wagenscheins Methode: Genetisch-sokratisch-exemplarisch - beim Barometer-Lehrstück	45
2.3.1.1. Genetisch	45
2.3.1.2. Sokratisch	47
2.3.1.3. Exemplarisch	51
2.3.2. Pascals Barometer im Rahmen der Lehrkunst-Didaktik	56
2.3.2.1. Lehrstück-Dramaturgie: Die Theatermetapher	56
2.3.2.2. Lehrstück-Dramaturgie: Fünf Lehrstück-Merkmale - am Barometer-Lehrstück	58
3. <u>„Faradays Kerze“ - ein zweites Lehrstück</u>	62
3.1. <u>Vorlage</u>	63
3.1.1. Zusammenfassung der Vorlesung von Faraday	63
3.1.2. „Faradays Kerze“ bei Martin Wagenschein	68
3.2. <u>Unterrichtsberichte</u>	69
3.2.1. Die Kerze in einer 4. Klasse der Volksschule	69
3.2.2. Die Kerze mit Studierenden der Lehrerausbildung	77
3.2.3. Überblick über meine Inszenierungen	89
3.3. <u>Didaktische Interpretation</u>	91
3.3.1. Wagenscheins Methode: Genetisch-sokratisch-exemplarisch - beim Kerzenlehrstück	91
3.3.1.1. Genetisch	91
3.3.1.2. Sokratisch	93
3.3.1.3. Exemplarisch	94

3.3.2. Faradays Kerze im Rahmen der Lehrkunst-Didaktik	102
3.3.2.1. Lehrstück-Dramaturgie: Die Theatermetapher	102
3.3.2.2. Lehrstück-Dramaturgie: Fünf Lehrstück-Merkmale - am Kerzen-Lehrstück	104
<u>3.4. Synopsis des Kerzenlehrstücks</u>	108
3.4.1. Die Inszenierung von Hartmut Klein	108
3.4.2. Die Inszenierung von Eberhard Theophel	109
3.4.3. Die Inszenierung von Ortwin Johannsen	111
3.4.4. Vergleich der beschriebenen Inszenierungen	112
3.4.5. Das resultierende Lehrstück	114
4. „Elementare Himmelskunde“ - ein drittes Lehrstück	121
<u>4.1. Vorlage</u>	122
4.1.1. Zusammenstellung aller Texte von Wagenschein zur Himmelskunde	122
4.1.2. Zusammenfassung von „Die Erde unter den Sternen“	126
4.1.3. Didaktische Interpretation von „Die Erde unter den Sternen“	131
4.1.4. Texte von Hans Christoph Berg: „Mit Adler und Orion um die Welt“ und „Diesterwegs Himmelskunde“	138
<u>4.2. Konzept und Unterricht</u>	141
4.2.1. Konzept	141
4.2.1.1. Der Turm der Astronomie	141
4.2.1.2. Das Konzept des Himmelskunde-Lehrstücks	143
4.2.1.3. Zusammenfassung des Himmelskunde-Lehrstücks	144
4.2.1.4. Entwicklungsgeschichte des Lehrstücks „Elementare Himmelskunde“	148
4.2.2. „Unterrichtsbericht“ über eine fiktive Studienwoche zum Lehrstück „Elementare Himmelskunde“	150
4.2.3. Die realen Inszenierungen in Kurzfassungen und im Überblick	164
4.2.3.1. Goldern 1990	164
4.2.3.2. Langenbruck 1995	166
4.2.3.3. Prés d'Orvin 1996	169
4.2.3.4. Golaten 1997	173
4.2.3.5. Prés d'Orvin 1998	176
4.2.3.6. Überblick	180
4.2.4. Rückblick auf die Inszenierung 98	183
4.2.4.1. Rückmeldungen der Schüler und Schülerinnen	183
4.2.4.2. Was bleibt? Kontrolle des Lernerfolges	184
<u>4.3. Didaktische Interpretation</u>	185
4.3.1. Genetisch	185
4.3.2. Sokratisch	186
4.3.3. Exemplarisch	187
4.3.4. Dramaturgisch	188
4.3.4.1. Die Theatermetapher im Himmelskunde-Lehrstück	188
4.3.4.2. Fünf Lehrstückmerkmale - im Himmelskunde-Lehrstück	190

5. <u>Lehrkunst im Unterricht</u>	194
5.1. Die Lehrstücke im Rahmen des Lehrplans	194
5.2. Rückmeldungen von Schülern und Schülerinnen	197
6. <u>Welche Erkenntnisse zur Lehrkunst lassen sich aus der vorliegenden Arbeit gewinnen?</u>	205
6.1. Exemplarisch	205
6.2. Genetisch	207
6.3. Dramaturgisch	211
6.4. Sokratisch	214
6.5. Exemplarisch: genetisch-dramaturgisch	216
7. <u>Literaturverzeichnis</u>	218

1. Einleitung und Fragestellung

1.1. Zusammenfassung der vorliegenden Arbeit

Die Lehrkunst in der Ausprägung von Hans Christoph Berg und Theodor Schulze ist eine junge Didaktik. Sie tritt 1990 in einem Heft der Neuen Sammlung erstmals auf, 1995 erscheint dann das Lehrbuch zur Lehrkunst. In einem einleitenden Kapitel zeige ich, wie sich die Lehrkunst aus den Wurzeln von Martin Wagenschein entwickelt hat. Aus diesem Überblick entwickle ich die didaktischen Fragen, die in dieser Arbeit diskutiert werden sollen.

Im Zentrum der Lehrkunst stehen die Lehrstücke. Auch in der vorliegenden Arbeit stehen drei Lehrstücke aus drei verschiedenen Fächern im Zentrum:

1. „Pascals Barometer“ aus der Physik
2. „Faradays Kerze“ aus der Chemie
3. „Elementare Himmelskunde“ aus der Astronomie

Sie werden vorgestellt in Unterrichtsberichten aus dem eigenen Unterricht. Ausführlich gehe ich auch auf die Quellen dieser Lehrstücke ein: Die Ansätze von Wagenschein zum Barometer, die Vorlesung von Faraday zur Kerze und die Texte von Wagenschein zur Himmelskunde.

Nur von wenigen Stücken liegen bisher Unterrichtsberichte verschiedener Lehrer und Lehrerinnen vor. Zu ihnen gehört Faradays Kerze. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit versucht, eine Synopsis dieses Lehrstücks zu erstellen: Aus den eigenen Unterrichtsberichten aus einer 4.Klasse und aus der Lehrerbildung mit Studenten und Studentinnen, aus den Inszenierungen von Hartmut Klein (Amöneburg, 7.Klasse), Ortwin Johannsen (Ecole d'Humanité, 9.Klasse) und Eberhard Theophel (Wetzlar, 9.Klasse) wird ein „resultierendes Lehrstück“ erarbeitet. Es kann als Vorlage für neue Inszenierungen dienen. Nicht im Gestus: So muss es sein, sondern: So ist die Grundform, aus der, angepasst an die äusseren Bedingungen (Zeit, Stufe, Zielsetzung, Auswahl der Schwerpunkte,..), neue Variationen hervorgehen.

Auch bei der Himmelskunde wurde aus verschiedenen Inszenierungen ein resultierendes Lehrstück erarbeitet. Die Situation ist hier aber komplexer, denn die Inszenierungen unterscheiden sich stärker: Zu den unterschiedlichen Voraussetzungen bezüglich der zur Verfügung stehenden Zeit, dem Wetter und der Schulstufe kommt dazu, dass sich das Lehrstück im Laufe der Zeit stark verändert hat.

Ein zweiter Teil der vorliegenden Arbeit beschäftigt sich mit der Lehrkunst-Theorie. Was bedeutet die Formel „Exemplarisch: genetisch-dramaturgisch“? In welchem Zusammenhang steht sie zu Wagenscheins Didaktik mit der Trias „genetisch-sokratisch-exemplarisch“?

Um diese Fragen zu klären, habe ich für alle drei Lehrstücke eine ausführliche Interpretation geschrieben. Auf der Grundlage dieser Interpretationen diskutiere ich im letzten Kapitel der Arbeit Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Genetischen und des Exemplarischen bei Wagenschein und in der Lehrkunst und das Verhältnis von „sokratisch“ und „dramaturgisch“.

1.2. Mit Wagenschein zur Lehrkunst - Zusammenfassung der Grundlagen

1.2.1. Die Didaktik von Wagenschein



Martin Wagenschein, 1986

Wagenscheins Didaktik wird mit den didaktischen Begriffen »Genetisch-Sokratisch-Exemplarisch« beschrieben. In den didaktischen Interpretationen werde ich mich anhand konkreter Unterrichtseinheiten mit diesen Begriffen auseinandersetzen. In dieser Einleitung begnüge ich mich mit einer ersten Annäherung:

Genetisch: Ziel des genetischen Unterrichts ist das „Verstehen“. Es geht nicht um das effiziente, schnelle Vermitteln von Stoff, sondern darum, sich auf die Sache wirklich einzulassen, gründlich, kritisch, beharrlich. Um ein Ergebnis zu verstehen, muss man wissen, wie es entstanden ist, woher es kommt. Man muss auf sicherem, bekanntem Terrain anfangen und sich dann ins Ungewisse vortasten, man muss „einen Fremden ... als einen verkleideten alten Bekannten wiedererkennen.“¹ Diesen Weg muss jeder Schüler und jede Schülerin selber gehen. Der Lehrer oder die Lehrerin hat also nicht die Aufgabe, Probleme aus dem Weg zu räumen, sondern er bzw. sie muss den Schülern und Schülerinnen behutsam helfen, die Probleme selber zu bewältigen.

Sokratisch: Ein genetischer Unterricht erfordert nun einen andern Lehrer: Er muss zuhören statt erklären, er muss bremsen statt drängen, er hofft auf Widerspruch statt auf schnelle Zustimmung. Wagenschein hält das gemeinsame Gespräch für die wirkungsvollste Art, in diesem Sinne zu unterrichten: „Das wirkliche Verstehen bringt uns erst das Gespräch: gelassen, locker, intensiv. Ausgehend und angeregt von etwas Rätselhaftem, auf der Suche nach dem Grund.“² Der Lehrer als Leiter des Gesprächs hat dabei die Doppelrolle des Sokrates: kritisches Nachfragen, wenn unverstandenes Scheinwissen auftritt, und behutsames Helfen, damit das Wissen entsteht.³

¹ Martin Wagenschein: Naturphänomene sehen und verstehen; S.141. Interessant ist, dass am Anfang des Verstehens oft die Umkehrung notwendig ist: Man muss etwas, das man scheinbar kennt, mit fremdem Blick (Rumpf) betrachten, im Bekannten etwas Fremdes, Ungewohntes entdecken, das einen zum Nachdenken auffordert.

² Martin Wagenschein: Die Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft; S.74

³ Hans Christoph Berg bezeichnet die beiden Rollen als diejenige der Stechfliege, die die Seifenblasen des unverstandenen Wissens platzen lässt, und der Hebamme, die dem neuen, verstandenen Wissen auf die Welt hilft.

Exemplarisch heisst, dass solcher Unterricht an sorgfältig ausgewählten Stellen in die Tiefe und in die Weite geht, an Stellen, in denen sich das Ganze spiegelt, an denen sowohl wichtige fachliche Erkenntnisse als auch allgemeine Einsichten gewonnen werden können. Wagenschein spricht von Brückenpfeilern, die stabil gebaut werden müssen und die gründlich verankert sein müssen, damit sie die darüber gebaute Brücke auch zu tragen vermögen.

Wagenschein (1896-1988) war Physik- und Mathematiklehrer. In seiner pädagogischen Autobiographie „Erinnerungen für morgen“ schreibt er: „Es gab zwar Lichtblicke in der Staatsschule. Aber im Ganzen: das war es nicht!“⁴ In der Odenwaldschule⁵ entwickelte und erprobte er den genetisch-sokratisch-exemplarischen Unterricht, den er in seiner zweiten Lebenshälfte in seinen Seminaren in Darmstadt und Tübingen lehrte und in seinen Büchern, Zeitschriftenartikeln und Vorträgen immer wieder beschrieb⁶.

Mit dem Blick auf seine Methode haben wir aber erst die eine Hälfte von Wagenschein beleuchtet. Die andere Hälfte sind seine Beispiele. Exemplarisch heisst ja nicht: irgendein Beispiel, sondern eines, das grundlegende Einsichten und Erkenntnisse ermöglicht. Und auch das genetische Lehren stellt einige Bedingungen, zum Beispiel:

(a) Es braucht am Anfang eine Situation, die uns ins Staunen versetzt. Wagenschein formuliert es so: „... es muss ein Phänomen da sein, das die Eigenschaft hat, dass man darüber stolpert, beim Aufnehmen. Man wundert sich, es ist rätselhaft, eine Sache, die in höchstem Mass erstaunlich ist...“⁷

(b) Es muss ein Thema sein, das die Schüler und Schülerinnen aus eigener Kraft lösen können.

Ich nenne drei Beispiele, in denen Wagenschein beschreibt, wie sein Konzept von Unterricht umgesetzt werden kann:

1. »Ein Unterrichtsgespräch zu dem Satz Euklids über das Nicht-Abbrechen der Primzahlenfolge« beschreibt seinen Kurs an der Ecole d'Humanité⁸: Die Lücke zwischen zwei Primzahlen wird immer grösser. Gibt es irgendwann eine grösste Primzahl? Oder findet man nach einer grossen Lücke schliesslich eine noch grössere Primzahl? Man wird das vermuten, aber wie kann man das beweisen? Man kann versuchen, ein Verfahren zu finden, mit dem von einer beliebigen Primzahl aus immer eine noch grössere gefunden werden kann. Aber das ist gar nicht so einfach. Im Unterrichtsbericht von Wagenschein kann man nachlesen, wie Wagenscheins Schüler und Schülerinnen in fünf Stunden den Weg gefunden, wie sie Euklids Beweis »nacherfunden« haben.

2. Unter dem Titel »Das Fallgesetz im Brunnenstrahl« hat Wagenschein einen genetischen Lehrgang beschrieben⁹, der als konkrete Planung für den Unterricht gedacht ist. „Wie fliegt ein Stein?“ heisst es am Anfang. Mit dem Brunnenstrahl

⁴ Martin Wagenschein: Erinnerungen für morgen; S.24

⁵ Die Odenwaldschule ist ein reformpädagogisches Landerziehungsheim. Sie wurde 1910 von Paul Geheeb gegründet. Wagenschein unterrichtete von 1924-33 an der Odenwaldschule.

⁶ Wagenscheins bekannteste theoretische Schriften sind: Verstehen lehren (1968), Die Pädagogische Dimension der Physik (1962) und Ursprüngliches Verstehen, Band I (1965) und Band II (1975)

⁷ Martin Wagenschein: Über das genetisch-exemplarische Lehren; Video-Aufnahme

⁸ Martin Wagenschein: Naturphänomene sehen und verstehen; S.228-236

⁹ Martin Wagenschein: Natur physikalisch gesehen; S.31-41

kann man die Flugbahn festhalten und ausmessen. Man stellt fest, und das ist doch sehr erstaunlich: Das Vorwärts-Fliegen und das Senkrecht-Fallen sind voneinander unabhängig, und deshalb kann man aus dem Brunnenstrahl das Fallgesetz ableiten. Das Gesetz hält auch stand, wenn das Wasser schräg nach oben aus einem Schlauch herausspritzt; es gilt immer. Galilei hat es entdeckt, allerdings nicht am Brunnenstrahl, sondern an der Bewegung einer Kugel auf der schrägen Bahn. Und seit Galilei ist das Experimentieren und Messen die Grundlage der physikalischen Naturerforschung.

3. Das 1955 erschienene, leider seit langem vergriffene Büchlein »Die Erde unter den Sternen«¹⁰ beschreibt ausführlich den genetischen Weg von den einfachen Beobachtungen von Sonne, Mond und Sternen zum Weltbild des Kopernikus: zur Kugelgestalt der Erde zuerst und dann zur Drehung der Erde um ihre Achse und zu ihrem Jahreslauf um die Sonne. Wie dieser genetische Weg im Unterricht realisiert werden kann, beschreibt Wagenschein allerdings nicht.

1.2.2. Auf dem Weg zur Lehrkustdidaktik

Auf der Theorie und den Exempeln von Wagenschein baut nun die Lehrkustdidaktik auf. Wichtige Stationen in der Entwicklung von Wagenschein zur Lehrkunst sind zwei Hefte der Zeitschrift »Neue Sammlung«. Das 1986er Heft, zum 90. Geburtstag von Wagenschein erschienen, trägt den Titel »Dank Wagenschein«. Unter dem Titel »Lehrkunst im Traditionsstrom« formuliert Hans Christoph Berg in diesem Heft: „Dank Wagenschein ist wieder sichtbar geworden: Jeder der drei historischen Grossmeister der Didaktik - Comenius, Diesterweg, Willmann - war zugleich Meister und Magister, war Lehrmeister und Lehrwissenschaftler, hat selber gelehrt und dabei Lehrgänge, Lehrstücke, Lehrwerke verfasst und hat zugleich Lehrtheorien oder Lehrregeln aufgestellt. Nach diesen massgeblichen, klassischen Didaktikern ist das Leitbild akademischer Didaktikstudien und Didaktikübungen nicht der Nichtskönnner und Besserwisser, sondern der Könnner und Kenner, der didacticus doctus, entsprechend dem medicus doctus und poeta doctus“¹¹ Das zweite Heft, 1990 erschienen, trägt dann schon den Titel »Lehrkunst« und berichtet über erste Unterrichtsversuche mit Lehrstücken: zum Beispiel Hartmut Kleins Unterrichtsberichte zu den Themen »Kerze« und »Fallgesetz«. Unter dem Titel „Suchlinien“ erschienen dann 1993 die gesammelten Aufsätze von Hans Christoph Berg auf dem Weg zur Lehrkunst.

1.2.3. Die Lehrkustdidaktik von Berg/Schulze

1995 erscheint das Lehrbuch zur »Lehrkunst«. Umrahmt von den Theoriebeiträgen zu Konzept und Methode von Hans Christoph Berg und Theodor Schulze stehen die elf Lehrstücke im Zentrum. Sie umfassen rund zwei Drittel des Buches und werden in Form von Unterrichtsberichten dargestellt. Die Texte zur Methode (Hans Christoph Berg: „Genetische Methode“ und Theodor Schulze: „Lehrstück-Dramaturgie“) sind die Grundlage der Theorie der Lehrkustdidaktik.

Auch in den nachfolgenden Büchern stehen die Lehrstücke im Zentrum. Von den Theoriebeiträgen sind in „Lehrkunstwerkstatt I“, erschienen 1997, der Einführungs-

¹⁰ ausführlich zusammengefasst in Kapitel 4.1.2.

¹¹ Hans Christoph Berg: Lehrkunst im Traditionsstrom - dank Wagenschein, Neue Sammlung 4/86; S.600

text von Wolfgang Klafki: „Exempel hochqualifizierter Unterrichtskultur“ und in „Lehrkunstwerkstatt II“ die „10 Thesen zur Lehrkunst“ von Hans Christoph Berg und Theodor Schulze besonders zu erwähnen.



Christoph Berg und Theodor Schulze
Lehrkunstwoche Münchenwiler 1999

Die Lehrkustdidaktik von Berg/Schulze wird mit den Begriffen »Exemplarisch: genetisch-dramaturgisch« charakterisiert.

Exemplarisch heisst:

- 1) Das Lehrstück befasst sich mit einem Thema, das innerhalb eines Faches eine zentrale Stellung hat. Theodor Schulze spricht von einem „Menschheitsthema“ und meint damit ein Thema, „das die Menschen anhaltend und immer wieder neu beschäftigt hat“¹² Im Lehrstück wird erarbeitet, wie „eine neue Sicht-, Denk- oder Handlungsweise zum Durchbruch gekommen ist.“¹³ Dies ist in der Regel ein Prozess, an dem viele Menschen beteiligt sind. Theodor Schulze spricht deshalb von einem „kollektiven Lernereignis“¹⁴. Mit „Ereignis“ ist dabei der Moment des Durchbruchs gemeint, der „unsere Weltsicht und unser Selbstverständnis für immer verändert hat.“¹⁵ Die Lehrkustdidaktik konzentriert sich auf inhaltliche Themen. „Lehrkunst-Didaktik ist als Inhalts-Didaktik immer zugleich Fachdidaktik.“¹⁶
- 2) Die thematische Landkarte stellt die Anschlussstellen dar, sie zeigt also, welche anderen Themen mit dem Inhalt des Lehrstücks verbunden sind und von ihm aus erschlossen werden können. „Sie verschafft einen Überblick und stellt Verbindungen her. An ihr lässt sich auch zeigen, wie reichhaltig und vielseitig das Thema ist und welch ein Potential an Bedeutsamkeit es in sich trägt.“¹⁷
- 3) An exemplarisch ausgewählten Themen sollen allgemeine Erkenntnisse aufleuchten, die auch an anderen Stellen wieder verwendet werden können. Theodor Schulze spricht von „Schlüsselthemen“, deren Lösung „den Zugang zu einem grösseren Bereich und die Aussicht auf umfassende Zusammenhänge eröffnet.“¹⁸

¹² Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S.386

¹³ Theodor Schulze / Hans Christoph Berg: Zehn Thesen zur Lehrkunst; S. 342

¹⁴ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S.385

¹⁵ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S.386

¹⁶ Theodor Schulze / Hans Christoph Berg: Zehn Thesen zur Lehrkunst; S. 342

¹⁷ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S.388

¹⁸ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S.387

Das Genetische basiert auf Wagenschein (siehe oben) und Willmann. Hans Christoph Berg schreibt zusammenfassend: „Die genetische Methode bietet Hilfen zum individuellen Verständnis und Mitvollzug menschheitlicher Erkenntnisse und Erfahrungen mit einem Stück Welt.“¹⁹ Es geht darum, dass die Schüler und Schülerinnen den Weg, der zu einer Erkenntnis führte, nachvollziehen können. „Erst Weg und Ziel zusammen sind Bildung.“²⁰

Neu dazu kommt dramaturgisch, ein Begriff, der 1959 von Gottfried Hausmann in die Didaktik eingebracht wurde²¹. Theodor Schulze weist im Lehrkunstbuch in seinem fundamentalen Beitrag »Lehrstück-Dramaturgie« nach, dass die Metapher des Theaters oft hilfreich ist, um die Anliegen der Lehrkunst zu beschreiben. Was gemeint ist, kann hier nur ganz kurz angedeutet werden: In einem Schauspiel muss der Autor einen Inhalt so gestalten, dass er auf der Bühne gespielt werden kann. In Analogie dazu muss der Autor eines Lehrstücks einen Inhalt so in eine Folge von Handlungen verwandeln, dass Lernprozesse möglich werden. Die Lehrkraft, die das Lehrstück unterrichtet, übernimmt dann die Rolle des Regisseurs, der mit seinen Schülern und Schülerinnen das Lehrstück inszeniert. Im Unterschied zum Theater gibt es aber weder vorgeschriebene Rollen noch Zuschauer. Aber nur wenn es gelingt, dass die Schülerinnen und Schüler sich auf das Stück einlassen, so wie sich auch Schauspieler mit ihren Rollen identifizieren, sind dauerhafte Lernprozesse möglich.

Auf Seite 11 ist die Entwicklung der Lehrkunst als Baum dargestellt: Die Wurzeln der Lehrkunst finden wir bei Wagenschein. Im Bild sehen wir ihn im Seminar in Darmstadt 1983. Das Bild zeigt einerseits das Sokratische - der Lehrer hört und schaut aufmerksam zu, aber er spricht nicht - als Teil seiner Didaktik, die in den Büchern „Verstehen lehren“, „Die Pädagogische Dimension der Physik“ und „Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken“ ausführlich dargestellt wird. Das Bild zeigt aber auch die andere Seite von Wagenschein, die lange zu wenig beachtet wurde: seine Beispiele. Es geht hier um das Bierglas, das aus dem Wasser gezogen wird. Dieses Anfangsphänomen bildet die Grundlage des Lehrstücks „Barometer“, das im Kapitel 2 dieser Arbeit ausführlich beschrieben wird. Weitere Beispiele, die ich oben schon erwähnt habe, sind das „Fallgesetz“ und die „Primzahlen“.

Der Stamm des Baumes ist der Weg von Wagenschein zur Lehrkunst: die beiden Hefte der Zeitschrift „Neue Sammlung“ und die gesammelten Aufsätze von Hans Christoph Berg in „Suchlinien“.

Die Krone des Baumes schliesslich ist die Lehrkunst. Auf der linken Seite habe ich die Schriften zur Theorie, auf der rechten Seite einige Lehrstücke aufgeführt. Ich habe ausschliesslich Lehrstücke gewählt, zu denen ich eine enge Beziehung habe. Nebst den in dieser Arbeit ausführlich dargestellten Lehrstücken „Faradays Kerze“, „Pascals Barometer“ und „Elementare Himmelskunde“ sind es: das Lehrstück „Fabeln“, das ich mit Astrid Eichenberger zusammen in der Lehrerfortbildung und -ausbildung inszeniert habe²², das Lehrstück „Chemisches Gleichgewicht“²³, das

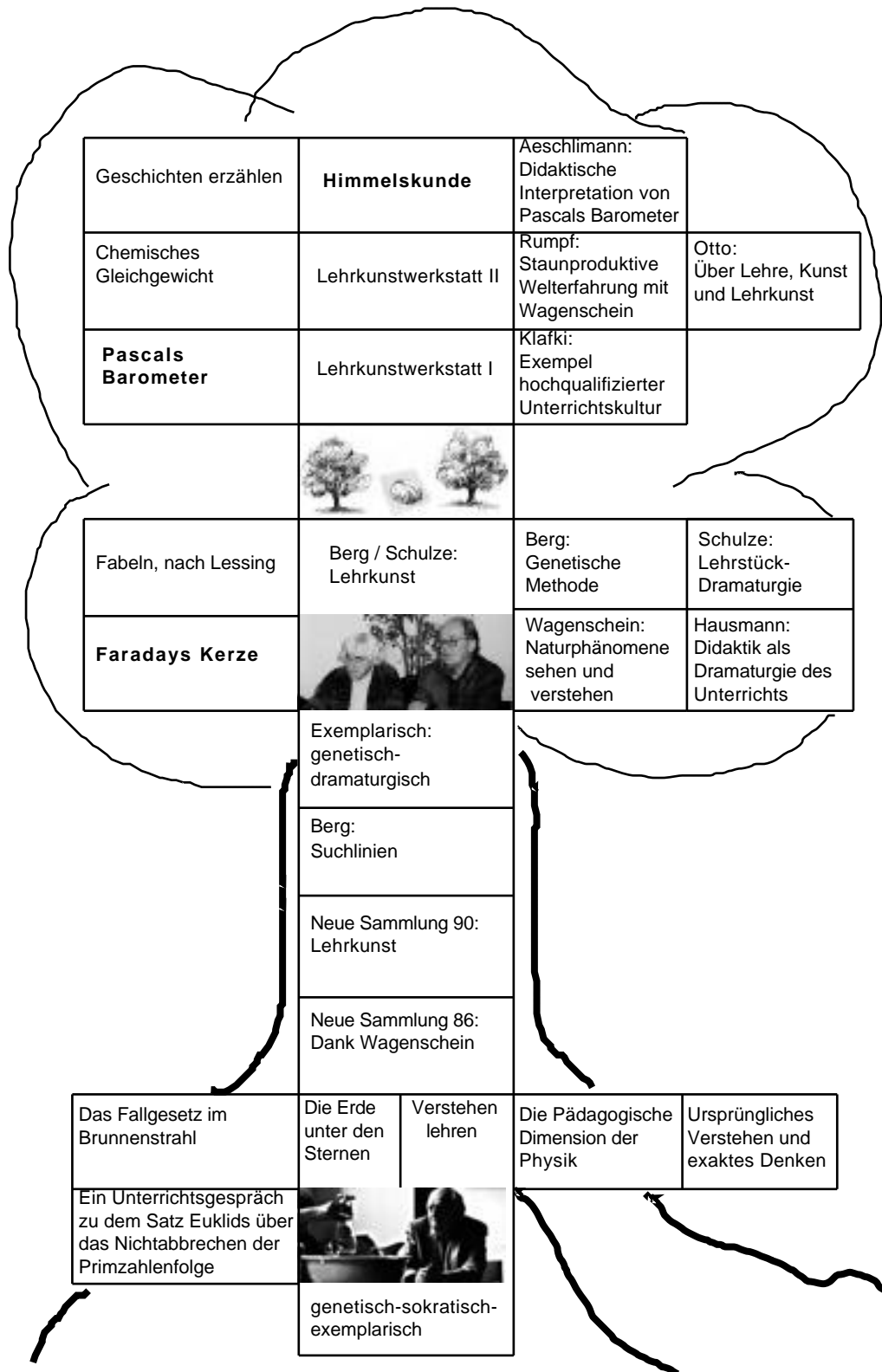
¹⁹ Hans Christoph Berg: Genetische Methode; S.359

²⁰ Hans Christoph Berg: Genetische Methode; S.357

²¹ Gottfried Hausmann: Didaktik als Dramaturgie des Unterrichts.

²² Hans Christoph Berg / Ueli Aeschlimann / Astrid Eichenberger: Lehrstückunterricht. In: Jürgen Wiechmann (Hrsg.): Unterrichtsmethoden; erscheint demnächst bei Beltz.

²³ Hans Ulrich Küng: Chemisches Gleichgewicht. In: Berg / Schulze: Lehrkunstwerkstatt II; S.41-118



ich mit meinen Schülern inszeniert habe²⁴, und das Lehrstück „Geschichten erzählen“²⁵, bei dessen Entstehung ich mitgearbeitet und das ich bei Präsentationen mehrfach miterlebt habe.

Als Symbol für die Lehrkunst steht die Zeichnung von Ruedi Pflüger, Kunstdozent und bekannter Künstler aus Liestal: In der Nuss ist die Kraft und das Wesen des Baumes verdichtet, und aus der Nuss wächst dann wieder der neue Baum. „Ähnlich wünschen wir uns exemplarische Lehrstücke, in denen sich die Kräfte grosser kultureller Traditionen lebendig verdichtet haben, und die nun im Leben der neuen Generation wieder zu neuen lebenskräftigen Gestalten heranwachsen können.“²⁶ An ausgewählten Stellen - „Zehn Prozent Spielplan im Lehrplan“²⁷ wäre das Ziel - sich ernsthaft einlassen, in die Tiefe und in die Breite gehen.

Die unterrichtspraktische Bewährung ist und bleibt ein essentielles Lehrstückmerkmal. Auf dieser Basis haben nun Hans Christoph Berg und Wolfgang Klafki seit 1997 auch die unterrichtswissenschaftliche Dimension von Lehrstücken eröffnet und in gemeinsam betreuten Dissertationen gangbar gemacht. „Insofern enthält der Entwicklungsprozess von »Lehrstücken« immer schon Ansätze oder Elemente des wissenschaftlich-didaktischen Erkenntnisprozesses; die »Produktion« des Untersuchungsgegenstandes, der innovativen Lehrkunst-Praxis, ist hier ein konstitutives Moment dieses Prozesses“, schreibt Klafki²⁸ in seiner wissenschaftstheoretischen und forschungspraktischen Erörterung der Lehrkundedidaktik.

Weitere Bilder auf der rechten Seite des Baumes stellten Texte von Horst Rumpf: „Staunproduktive Welterfahrungen“²⁹ und Gunter Otto: „Über Lehre, Kunst und Lehrkunst“³⁰ dar. Mit diesen beiden Didaktikern konnten wir auf der Lehrkunstwoche in Überstorf (Herbst 1997) den Ansatz der Lehrkunst diskutieren. Das letzte Bild steht für die didaktischen Interpretationen. „Pascals Barometer“, erstmals vorgetragen im Januar 1998 im Seminar in Marburg, später publiziert in den „Marburger Lehrkunst-Werkstattbriefen“ hat den Anfang gemacht. In der vorliegenden Arbeit folgen nun Interpretationen von „Faradays Kerze“ und „Elementare Himmelskunde“.

In der didaktischen Diskussion hat die Lehrkunst, vor allem seit dem Erscheinen des Lehrkunst-Buches 1995, an Akzeptanz gewonnen. Wolfgang Klafki schreibt: „Ich habe den Entwicklungsprozess der Lehrkundedidaktik seit den 80er Jahren mit wachsendem Interesse, unterstützend und zugleich mit kritischen Rückfragen begleitet Für mich steht heute ausser Zweifel, dass die Lehrkunst-Konzeption ein originärer Ansatz der zeitgenössischen Didaktik ist.“³¹ Heinrich Schirmer fasst die Rezeption der Lehrkunst zusammen: „Was anfänglich noch heftig hinterfragt

²⁴ Ueli Aeschlimann: Ein Lehrstück nachspielen. In: Berg / Schulze: Lehrkunstwerkstatt II; S.132-136

²⁵ Ruedi Bucher: Geschichten erzählen, noch nicht publiziert.

²⁶ Ueli Aeschlimann / Hans Christoph Berg: Kleine Bilderführung zur Lehrkundedidaktik. In: Berg / Schulze: Lehrkunstwerkstatt II; S.23

²⁷ Ueli Aeschlimann / Hans Christoph Berg: Kleine Bilderführung zur Lehrkundedidaktik. In: Berg / Schulze: Lehrkunstwerkstatt II; S.20

²⁸ Wolfgang Klafki: Exempel hochqualifizierter Unterrichtskultur; S.34

²⁹ In: Berg / Schulze: Lehrkunstwerkstatt II; S.321-324

³⁰ In: Berg / Schulze: Lehrkunstwerkstatt II; S. 325-340

³¹ Wolfgang Klafki: Exempel hochqualifizierter Unterrichtskultur; S.14. Klafkis begründete Kritik betrifft „... manche Aspekte der theoretischen Fundierung und etliche jener Abgrenzungen gegenüber vorliegenden Positionen und Konzeptionen der Didaktik ..“ (a.a.O.)

worden ist, wird allmählich und sinnvollerweise immer mehr als Bereicherung, Ergänzung oder gar als Anregung für das eigene didaktische Forschen aufgegriffen.“³² In Lehrkunstwerkstätten werden bewährte Stücke neu inszeniert, neue Stücke komponiert, und die Theorie gewinnt in der Auseinandersetzung mit den Stücken an Klarheit. In Marburg (durch Hans Christoph Berg an der Universität), in Gouda (mit Bert Kalkmann an der pädagogischen Hochschule), in Liestal (durch Astrid Eichenberger und Ueli Aeschlimann am Lehrerseminar) und in Bern (durch Hans Christoph Berg, Rolf Gschwend, Ueli Aeschlimann und Hans Ulrich Küng in der Lehrerfortbildung³³) hat die Lehrkunst feste Wurzeln. Die Lehrkunst-Woche in Naurod wurde 1999 nun schon zum fünften Mal durchgeführt und die Lehrkunstwoche von Überstorf (Herbst 97³⁴) erlebte im Herbst 99 in Münchenwiler eine zweite Auflage.

³² Heinrich Schirmer: Die Lehrkunst in Goethes Italienischer Reise. Dissertation, Philipps-Universität Marburg, 1998; S.14; auch in : Berg / Klafki / Schulze: Lehrkunstwerkstatt III; S.27

³³ Rolf Gschwend / Hans Christoph Berg: Die Berner Lehrkunstwerkstatt. In: Berg / Schulze: Lehrkunstwerkstatt II;S.285-320

³⁴ Rolf Gschwend / Hans Christoph Berg: Die Berner Lehrkunstwerkstatt. In: Berg / Schulze: Lehrkunstwerkstatt II, S.313-317

1.3. Leitfrage

Im vorangehenden Kapitel wurde beschrieben, wie die Lehrkunst von Berg/Schulze auf der Didaktik von Martin Wagenschein aufbaut. In diesem Zusammenhang stellt sich natürlich die Frage: Wie unterscheidet sich die Lehrkunst-Didaktik von der Didaktik Martin Wagenscheins?

Wagenscheins Didaktik wird mit den Begriffen „Genetisch-sokratisch-exemplarisch“ beschrieben. Die Lehrkunst-Didaktik kennzeichne ich mit „Exemplarisch: genetisch-dramaturgisch“. Genetisch und exemplarisch kommen beide Male vor. Meinen Wagenschein und Berg/Schulze mit diesen Begriffen dasselbe? Wo sind Gemeinsamkeiten und wo gibt es Unterschiede? Warum steht bei Wagenschein „exemplarisch“ am Schluss, bei Berg/Schulze am Anfang? Bei Wagenschein heisst es „sokratisch“, bei Berg/Schulze „dramaturgisch“. Ich meine, dass diese beiden Begriffe nicht miteinander verglichen werden können, weil sie sich auf unterschiedliche Kategorien beziehen. Es stellt sich dann natürlich die Frage, welche Rolle das sokratische Gespräch in der Lehrkunst hat, und umgekehrt, ob Wagenscheins Beispiele auch den Ansprüchen der Lehrstück-Dramaturgie genügen.

„Die Lehrkunst-Didaktik geht aus von der Beschäftigung mit einzelnen Lehrstücken und kehrt immer wieder zu ihnen zurück. An ihnen lernt sie; an ihnen und mit ihnen entwickelt sie sich, an ihnen findet sie Bestätigung und Korrektur“³⁵ In diesem Sinne werden die oben genannten Fragen an den Lehrstücken „Pascals Barometer“, „Faradays Kerze“ und „Elementare Himmelskunde“ diskutiert. Wie konkretisiert sich der genetische Aufbau und die dramaturgische Gestaltung in diesen Lehrstücken? Und wie entfaltet sich Berg/Schulzes Vorstellung des Exemplarischen in diesen Lehrstücken? Welche Bedeutung hat das Sokratische in diesen Lehrstücken?

Im Sinne einer Erhellung und Weiterentwicklung der Lehrkunst-Didaktik versuche ich dann, den Ertrag der Untersuchungen an den konkreten Lehrstücken zusammenzufassen zu übergreifenden Antworten auf die oben gestellten Fragen. Das Ziel meiner Arbeit ist letztlich eine sorgfältige Begründung und eine bündige Formulierung der Trias: „Exemplarisch: genetisch-dramaturgisch“.

³⁵ Hans Christoph Berg: Ein anderer Blick. In: Lehrkunst; S.16

2. Pascals Barometer

Das Lehrstück „Pascals Barometer“ handelt von der Entdeckung des Luftdrucks und der Erfindung des Barometers. Es lässt deutlich die Doppelaufgabe des Lehrkunst-Didaktikers aufscheinen: die Aufgaben des Forscher und des Dichters. Als Lehrkunst-Forscher studiert er die historischen Quellen des Themas: Galilei beschreibt, dass eine Pumpe das Wasser nicht höher als 10 m pumpen kann, weil der horror vacui - eine Vorstellung, die auf Aristoteles zurückgeht - eine begrenzte Kraft hat. Torricelli experimentiert mit Glasrohren, die er mit Quecksilber füllt und aufstellt. Auf diese Weise kann er ein Vakuum erzeugen. Pascal zeigt mit seinem Experiment am Puy de Dôme, dass der Glaube, die Natur verabscheue die Leere, nicht haltbar ist und dass der Luftdruck, erzeugt durch das Gewicht der Luft, die wirkliche Ursache ist. Von Guericke erfindet die Luftpumpe und demonstriert mit den Magdeburger Halbkugeln die unvorstellbare Kraft des Luftdrucks.

Der Lehrkunst-Dichter sucht nun erstens nach einer Eröffnung, die spannend genug ist, um die Schüler und Schülerinnen in die Sache hineinzulocken, hier das rätselhafte Bierglas: Wenn man ein Glas in einem Becken mit Wasser füllt und umgekehrt aus dem Becken herauszieht, bleibt das Wasser im Glas. Merkwürdig: Warum fließt das Wasser nicht aus dem Glas? Zweitens sucht der Lehrkunst-Dichter dann nach einer überzeugenden dramaturgischen Komposition der ganzen Unterrichtseinheit: Vom Bierglas zum langen Schlauch, zum Gewicht der Luft, ... Wagenschein hat die Quellen ausgegraben³⁶, und er fand die geniale Eröffnung³⁷, aber es fehlt die Ausarbeitung zur Gesamtdarstellung der Unterrichtseinheit zum Luftdruck. Wagenschein hat die Eröffnung mehrfach meisterhaft durchgeführt, und er erzählt im Seminar auch, dass er das Thema mit Schülern und Schülerinnen durchgearbeitet hat. Eine Aufzeichnung eines solchen Unterrichts wurde aber bis heute nicht gefunden, so dass das Lehrstück „Pascals Barometer“ auf den Ansätzen Wagenscheins aufgebaut und ausgestaltet werden musste: Vom Bierglas kommen wir zum Luftdruck, vom Barometer zum Wetter, und Pascal ist die zentrale Figur, die den Paradigmenwechsel vom horror vacui zum Luftdruck verkörpert, mit seinem berühmten Experiment am Puy de Dôme.

Drei Unterrichtsinszenierungen liegen inzwischen vor. In Kapitel 2.2 wird die erste Inszenierung von 1995 beschrieben. Dieser Unterrichtsbericht wurde 1997 veröffentlicht³⁸. Die folgenden Inszenierungen (1998 und 1999) sind als Ergänzungen und Fussnoten in diesen Unterrichtsbericht eingearbeitet. Der Vergleich zeigt: Auch wenn der Verlauf eines sokratischen Gesprächs nicht geplant werden kann, so darf man sich doch darauf verlassen, dass wichtige Ideen und Vorschläge (zum Beispiel die Luftdrucktheorie versus die horror vacui-Theorie) immer kommen werden. Es gelingt also mit wenig Steuerung durch die Lehrkraft, der dramaturgischen Gestaltung zu folgen.

Entspricht „Pascals Barometer“ Wagenscheins genetisch-sokratisch-exemplarischem Verfahren? Erfüllt es die Anforderungen der Lehrstück-Dramaturgie? Diesen Fragen geht die didaktische Interpretation³⁹ in Kapitel 2.3 auf den Grund.

³⁶ nachzulesen in den Aufzeichnungen des Seminars von Wagenschein in Darmstadt 1986 (unveröffentlicht)

³⁷ z.B. Martin Wagenschein: Erinnerungen für morgen; S.117-119

³⁸ Christoph Berg / Theodor Schulze: Lehrkunstwerkstatt I; S.92-116

³⁹ Erweiterte Fassung der in den Marburger Lehrkunst-Werkstattbriefen, Herbst 98 publizierten Interpretation

2.1. Vorlage: Die Wurzeln des Barometer-Lehrstücks bei Wagenschein



Martin Wagenschein: „Wenn man ein Glas unter Wasser füllt, und dann, die Öffnung nach unten kehrend, zum Teil heraushebt: Warum fällt das Wasser nicht heraus, wie es sich gehört?“⁴⁰

Martin Wagenschein hat immer wieder betont, dass am Anfang einer Unterrichtseinheit ein Phänomen stehen muss, das uns staunen lässt und zum Nachdenken anregt. Das Phänomen muss die Schüler und Schülerinnen „stutzen lassen, stolpern machen, weil es dem Gewohnten widerspricht: »Sonderbar« ist: und dies, obwohl es beliebig wiederholbar ist (»immer wieder sonderbar«). Also eine regelmässig auftretende Unregelmässigkeit.“⁴¹ Das Gläserspülen scheint mir ein besonders gutes Beispiel, denn es stammt aus dem Alltag, jeder kennt es und viele haben sich insgeheim schon gewundert, dass das Wasser nicht aus dem Glas fließt.

Mir sind drei Gelegenheiten bekannt, bei denen Martin Wagenschein das Thema „Luftdruck“ mit dem Gläserspülen eingeleitet hat:

1. Seminar für Schweizer Lehrer, Ebertswil, 1978. Aus diesem Seminar stammt der folgende Text⁴² (W = Wagenschein, T = Teilnehmer und Teilnehmerinnen):

Man sitzt um einen grossen ovalen Tisch herum.

W: „Am Anfang brauchen wir ein erstaunliches Phänomen, ein sonderbares. - Wie ist es denn, wenn man ein Glas beim Spülen aus dem Wasser zieht? - Haben Sie da mal etwas Auffälliges bemerkt?“

T: „Wenn man so ein Glas heraushebt, so nimmt man erst das Wasser mit hoch, bis es dann plötzlich rausläuft.“

W: „Sie haben aber noch nicht alles erzählt ...“

T: „Ach so, ja: Mit dem Boden nach oben, umgekehrt also. Unter Wasser ist es ganz voll Wasser, Wasserspiegel höher. Bleibt drin.“

W: „Nun mal ganz genau ...“

⁴⁰ Martin Wagenschein: Verstehen lehren; S.128

⁴¹ Martin Wagenschein: Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft; S.79

⁴² Martin Wagenschein: Erinnerungen für morgen; S. 116-119

T: „Wenn ich ein Glas unter Wasser voll mache und es dann mit dem Boden vorsichtig über das Wasser hinaus hebe, so dass sein Rand nicht über die Wasseroberfläche kommt, dann geht das Wasser im Glas mit.“

W: „Wie meinen Sie das »geht mit« ?“

T: „Die Wasseroberfläche im Glas ist dann höher als die in der Wasserschüssel. Das Wasser bleibt drin.“

W (Zu den anderen): „Wissen Sie, was er meint? Schon mal gesehen? - Ich seh es Ihnen an, dass Sie es nicht vor sich sehen!“

T: (weiblich, lachend): „Ja, dann müssen wir's eben mal machen, damit wir's vor uns haben.“

Auf dem riesigen alten Tisch wird eine Folie ausgebreitet. Vorsichtig wird eine Zinkwanne voll Wasser hereingetragen und darauf gestellt. - Man steht auf. - Einige beginnen, zögernd, andächtig zu spülen.

W (an T., der anfangs den Versuch vorgeschlagen hatte): „Ist es so richtig?“

T: nickt. - Gemurmel bei den andern.

W: „Ja, was wir gemacht haben, das ist jetzt klar.“

Man setzt sich wieder.

W: „Jetzt: Was ist hier das Problem?“

T: „Dass das Wasser im Glas bleibt, erstaunt mich. Sonst leert sich doch Wasser aus.“

T: „Wir sind gewohnt, dass Wasser ausfließt. Es widerspricht der Gewohnheit.“

Älterer Gast: „Wieso? es ist doch »gewöhnlich« : immer, wenn ich spüle, ist es so. Man wundert sich doch nicht darüber.“

Mehrere T: „Doch! Ich habe mich früher schon darüber gewundert.“

T: „Das Wasser kann nicht raus. Denn ...“

W: „Wieso, will es denn ?“

T: „Es will schon - aber da drin (in der Wanne) ist halt viel mehr Wasser. Da kommt es nicht gegen an. Es kann sich nicht durchdrängen. Einer gegen viele!“ (Gelächter)

W: „Das ist doch richtig. Die Menge machts!“

T (zögernd): „Wenn im Glas mehr Wasser wäre ..., wenn das Wasser im Glas so viel wäre wie draussen“

W: „Ja, ja! Da drängen sich Experimente auf, wie?“

T: „Ja, wenn wir statt der Wanne einen Suppenteller ... nein, das geht nicht!“

Mehrere stimmen aber zu. Ein Teller wird geholt.

T. versucht es mit Bierglas und Suppenteller. Es missglückt zuerst, weil das Glas gleich zu hoch gehoben wird. Dann klappts: Das Wasser bleibt im Glas, auch wenn das Glas (umgekehrt) nicht auf dem Teller ruht.

Erstauntes Lächeln.- So weiter, zwei Stunden lang.

2. Seminar für Lehrer der Glocksee-Schule, der Hermann-Lietz-Heime und Gästen (zum Beispiel Hans Christoph Berg und Horst Rumpf) Darmstadt, 1983. Von dieser Veranstaltung stammt das bekannte Bild von Martin Wagenschein mit dem Bierglas-Experiment, aufgenommen von Dieter Hermann. Wagenscheins Vortrag „Immer wieder seltsam“ ist aufgezeichnet⁴³, vom Gespräch zum Gläserespülen ist mir aber keine Aufzeichnung bekannt.

⁴³ Martin Wagenschein: Immer wieder seltsam; Vortrag vom 8.1.83, in: Immer wieder seltsam. Martin Wagenschein in der Glocksee-Schule. Zusammengestellt von Dieter Hermann, herausgegeben von der Glocksee-Schule Hannover, 1995

3. Seminar für Studenten der Technischen Hochschule Darmstadt, 1986.

Wagenschein hatte an der TH Darmstadt von 1951 bis 1988 einen Lehrauftrag für Physikdidaktik⁴⁴. 1986 stand das Thema „Luftdruck“ in zwei Seminarsitzungen im Zentrum. Hannelore Eisenhauer hat diese Veranstaltungen auf Tonband aufgezeichnet und anschliessend niedergeschrieben. Ich hatte Gelegenheit, dieses Protokoll im Wagenschein-Archiv an der Ecole d'Humanité in Goldern zu studieren und fasse hier den Verlauf zusammen:

16.6.86: Wagenschein zeigt den Seminarteilnehmern und -teilnehmerinnen den Versuch mit dem Bierglas.

W: „Also, wenn ich das Glas untertauche und rausziehe, umgekehrt, was fällt Ihnen auf?“

T: „Das Wasser bleibt drin. Das hebt man mit hoch.“

T: „Ja, man spürt, dass eine Kraft nach unten wirkt.“

Das Gespräch kommt nicht richtig in Gang.

W: „Was sagen die andern? Es dauert eine Weile, bis man eine Klasse soweit hat, miteinander zu sprechen. Mit Unbekannten kann man das nicht machen. Sie sprechen also nicht mit mir, sie sprechen miteinander, ich guck nur zu. Jeder sagt, was er denkt, man kann sich nicht blamieren. Geduld muss man dann haben. Auch nicht üblich in der Schule. ... Das Merkwürdige ist, dass das Wasser drin bleibt, und das zweite Merkwürdige ist, dass ich es offenbar tragen muss. ..“

T: „Wenn das Wasser unten rausginge, müsste ja oben etwas anderes rein. Es kann ja nichts anderes reingehen, weil da überall Wasser ist.“

W: „Warum muss denn da oben etwas rein?“

T: „Ja, sonst wäre da ein Vakuum.“

W: „Haben Sie etwas gegen das Vakuum?“

Wagenschein beschreibt nun, dass man den Satz - Vakuum ist unmöglich - über Jahrhunderte geglaubt hat. Das Gespräch geht dann weiter:

T: „Ich würde vielleicht versuchen, das Experiment leicht abzuändern. Zum Beispiel indem man in den Boden ein Loch reinbohrt.“

Der Vorschlag wird ausführlich diskutiert, aber nicht ausprobiert.

Wagenschein erzählt dann von den Schweizer Lehrern, die als Erklärung vorschlugen, dass das Wasser im Becken die Übermacht gegenüber dem Wasser im Glas habe. Das wird im Seminar ausprobiert: Einerseits, indem Wasser aus der Schüssel abgelassen wird, andererseits, indem das Glas unter Wasser in einen Aschenbecher gestellt und herausgezogen wird.

Auf Wagenscheins Vorschlag wird dann ein Glas mit Wasser gefüllt, mit einem Karton zugedeckt und umgedreht: Das Wasser bleibt im Glas. Kann es die Luft um das Glas herum sein, die das Wasser festhält?

T: „Irgend etwas muss doch dieses Wasser im Glas festhalten?“

W: „Ja, das hat Leute wie Descartes und Pascal und auch Galilei beschäftigt. Ich würde dann auch die Personen, die da auftreten, Pascal etwa, durchaus nicht bloss so erwähnen, sondern ich würde etwas über Pascal sagen, gründlich. ... Der nächste Schritt ist, dass man erst mal sieht, wie diese Leute die Tatsachen beschrieben haben. Ich würde von den Schülern erwarten: Schreibt das doch mal auf, was da los war. Das können sie zuhause machen, vergleichen miteinander, dann werden sie gute Sachen finden. Dann würde ich sagen: Jetzt lese ich euch noch den Pascal vor, von dem ich euch erzählt habe, was er aufgeschrieben hat.“ Pascals Formulierung wird im Seminar diskutiert.

⁴⁴ Daten nach: Hannelore Eisenhauer und Klaus Kohl: Martin Wagenschein: ein tabellarischer Lebenslauf; In: Chimica didactica 3/96, S.244-249

30.6.86: Die zweite Seminarsitzung beginnt damit, dass das Protokoll der vorangehenden Sitzung vorgelesen wird. Einige Experimente werden wiederholt, zum Beispiel das Experiment mit dem Karton unter einem mit Wasser gefüllten Becher. Dieses Experiment wird auch variiert, indem ein Loch in den Becher gebohrt wird, worauf der Karton sofort abfällt und das Wasser ausläuft. Wagenschein beschreibt danach einen Versuch: In einem Blechkanister wird Wasser erhitzt, bis der Kanister mit Wasserdampf gefüllt ist. Dann wird der Kanister gut verschlossen. Beim Abkühlen kondensiert das Wasser, und es entsteht „ein schrecklicher Knäuel aus Blech, der furchtbar gekrischen hat, geschrieen hat - haben Sie es mal gesehen? - und das beweist doch nur, dass die Angst vor dem Vakuum ... begründet ist.“ Wie soll es weitergehen? Man könnte sich fragen, ob der Versuch mit dem Glas auch geht, wenn das Glas grösser ist, ein, zwei Meter hoch oder noch mehr. Diese Überlegung führt zum Experiment mit dem langen Schlauch. Wagenschein liest vor, was Kinder einer Frankfurter Schule dazu geschrieben, und er ergänzt: „Macht grossen Eindruck. Ich habe es mehrmals gemacht.“ Es wird dann diskutiert, dass man das Experiment mit Quecksilber durchführen müsste, so wie Torricelli. Wie kann dieses Experiment technisch durchgeführt werden? Über das Resultat ist man sich aber einig: Wie beim Wasser im Schlauch würde über der Quecksilbersäule, die aufgrund der Dichte des Quecksilbers etwa dreiviertel Meter lang wäre, ein leerer Raum entstehen. Hier greift Wagenschein wieder ein:

W: „Ja, verstehen Sie das?“

Niemand weiss weiter.

W: „Warum hört das plötzlich auf bei zehn Metern, beziehungsweise das Quecksilber bei dreiviertel Meter? Und hier muss das Genie einsetzen. ...“

Und dann erzählt Wagenschein von Pascals Experiment am Puy de Dôme. Pascal hat dieses Experiment gemacht, weil er vermutete, dass der Luftdruck die Flüssigkeit trägt, und deshalb sollte auf dem Berg, wo die Luft dünner ist, die Flüssigkeit weniger hoch steigen. Wagenschein liest dann vor aus dem Brief von Pascal und der Antwort seines Schwagers, und er erzählt von Pascal, seinen mathematischen und physikalischen Entdeckungen und seiner Hinwendung zur Religion. Das Seminar endet mit einer offenen Situation:

W: „Wenn der Luftdruck das ist, der das hochtreibt, dann wäre doch zu erwarten, dass, wenn wir ein Loch oben reinmachen ...“

T: „... dann muss es eigentlich einen Springbrunnen geben.“

Diese Frage wird zu Beginn der nächsten Seminarsitzung (7.7.86) noch geklärt, dann wendet sich Wagenschein einem neuen Thema zu.

Anmerkung: Die meistens Experimente werden nur beschrieben und diskutiert, aber nicht ausprobiert. Wagenschein erzählt: „Ich habe es mehrmals gemacht“ und betont: „Verschiedene Dinge müssten in der Schule bereitliegen und die Kinder müssten spielen können mit den Dingen.“

Wagenschein zeigt in diesem Seminar am konkreten Beispiel Luftdruck auf, wie der Unterricht verlaufen könnte, und er reflektiert den Unterricht auch auf der Metaebene: „Fanden sie es schwer?“ fragt er zu Beginn der zweiten Sitzung. „Hier würde jetzt ...“ und „ich erzähle, wie ich das gemacht habe“ gibt aber einen ganz andern Duktus als realer Unterricht. In diesem Sinne diene die vorliegende Seminar-Aufzeichnung nicht als Vorlage, sondern als Quelle für das Lehrstück „Pascals Barometer“.

In seinem Aufsatz „Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft“ führt Wagenschein das Gläserspülen als Beispiel an, bei dem wirkliches Verstehen gelernt werden kann, „unabhängig vom Lehrplan, ohne Noten, an intensiven Beispielen und unter annähernd sokratischer Führung. ... Beim Spülen kommt es

vor. Ein Glas wird unter Wasser getaucht, gefüllt und langsam, die Öffnung nach oben - nicht ganz - aus dem Wasser gehoben: Warum läuft das Wasser nicht aus?“⁴⁵

⁴⁵ Martin Wagenschein: Die Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft; S.76

2.2. Unterrichtsbericht

„Lernen braucht Zeit, Langsamkeit und
Sorgfalt, Zuwendung und Hingabe, Stille
und Ausdauer“

Peter Gasser ⁴⁶

Ich berichte hier von der Durchführung des Lehrstücks zum Luftdruck in einer Klasse des Lehrerseminars Bern im ersten Ausbildungsjahr (10.Klasse). Pro Woche standen mir drei Lektionen zur Verfügung: Eine Einzellektion am Freitag und eine Doppellektion am Samstag. Ich versuche, den Unterrichtsverlauf so zu beschreiben, dass ein lebendiges, realistisches Bild entsteht und der Leser bzw. die Leserin unseren Weg nachvollziehen kann. Ich stütze mich bei den Zitaten der Schüler und Schülerinnen auf Tonbandaufnahmen, habe aber oft gekürzt, um den Fluss des Berichts zu erhalten, denn Unterrichtsberichte „sollen lesbar, ansprechend, interessant und anregend geschrieben sein, so dass man sich gern mit ihnen beschäftigt.“⁴⁷ Auch eine exakte Transkription würde ja nicht alles wiedergeben, da in den sokratischen Gesprächen die nonverbale Kommunikation ganz wesentlich ist: ein fragender Blick, ein ermunterndes Zunicken, eine erklärende Geste mit der Hand, all das könnte nur mit einer Videoaufnahme eingefangen werden.

Wir hatten im Unterricht das Ziel, im gemeinsamen Gespräch die von den Phänomenen ausgehenden Fragen zu klären. Dabei ist es nicht wichtig, wer eine Idee hat. Susanne und Christoph kommen oft zu Wort, aber die kritischen Einwände von andern Schülern und Schülerinnen sind mindestens so wichtig. Martin Wagenschein schreibt: „Dass also der Lehrer überhaupt nicht auf schnelle Zustimmung, sondern auf Einwände hofft.“⁴⁸

Der Unterrichtsbericht wurde in Berg/Schulze: Lehrkunstwerkstatt I, S. 92-116 veröffentlicht. Inzwischen habe ich das Lehrstück noch zweimal inszeniert, einmal zu Beginn einer 13.Klasse, das andere Mal zu Beginn einer 12.Klasse. Einzelne interessante Stellen habe ich als Ergänzungen oder Fussnoten in den Unterrichtsbericht eingefügt. Ein Vergleich des Unterrichtsverlaufs ist am Schluss des Unterrichtsberichts angefügt.

An den Anfang meines Unterrichts habe ich das von Wagenschein vorgeschlagene merkwürdige Verhalten des Bierglases gestellt⁴⁹. Wie kann man dieses Phänomen⁵⁰ erklären? In jeder Inszenierung wurden von den Schülern und Schülerinnen die beiden Erklärungen: „horror vacui“ und „Luftdruck“ vorgeschlagen. Aber wie geht es dann weiter? Es braucht die Aufmerksamkeit aller, um weiterzukommen: Die Schüler und Schülerinnen sollen Ideen entwickeln, wie man

⁴⁶ Peter Gasser: Neue Lernkultur; S.136

⁴⁷ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S.414

⁴⁸ Martin Wagenschein: Verstehen lehren; S.134

⁴⁹ Horst Rumpf hatte bei Studenten Erfolg damit, dass er eine mit Wasser gefüllte Weinflasche in ein Glas Wasser eintauchte. Vgl. H.Rumpf: Kostbares Befremden, Lehr-Anfänge nach Wagenschein; In: Neue Sammlung 1/90, S.36/37 und H.Rumpf: Ein kleiner Kommentar zu „Pascals Barometer“; In: Berg/Schulze: Lehrkunstwerkstatt I; S.116-119

⁵⁰ Wagenschein sagt zum Bierglas: „Eigentlich ist das kein Experiment. Ein Experiment macht man ja mit Absicht, um etwas vorzuführen. Eigentlich ist das ein Vorkommnis; das kommt vor, von selber. Und nur dann, wenn es von selbst vorkommt, ist es ein gutes Beispiel dafür, wie Physik entsteht.“ (Aus den Aufzeichnungen des Seminars an der TH Darmstadt)

mit Experimenten diese Theorien auf die Probe stellen könnte, und der Lehrer muss sehr aufmerksam zuhören, um interessante Ansätze aus den tastenden Formulierungen der Schüler und Schülerinnen herauszuhören (ohne etwas in diese Formulierungen hineinzuzinterpretieren!). „In erster Linie hat Wagenschein Erfolg, weil ihm Aufmerksamkeit wichtiger ist als das sogenannte richtige Wissen.“⁵¹ Um auf die Ideen der Lernenden eingehen zu können, halte ich eine grosse Auswahl an Material bereit: Gläser und Flaschen in verschiedenen Grössen und Formen, Schüsseln, ... - und dann freue ich mich auf den Unterricht!

2.2.1. Vom Bierglas zum Barometer

1. Lektion, Freitag, 5.5.95: Warum fliesst das Wasser nicht aus dem Glas?

19 Schüler und Schülerinnen sitzen mit mir zusammen im Kreis um einen Tisch herum. Ich führe das von Wagenschein vorgeschlagene Phänomen mit dem Bierglas vor. Lehrer: „Was beobachtet ihr?“⁵² Samuel: „Das Wasser läuft nicht aus dem Glas.“ Lehrer: „Habt ihr das erwartet?“ Susanne: „Das ist klar, das Wasser kann nicht hinaus.“ Simone: „Es kann keine Luft hinein. wo das Wasser nicht mehr wäre.“ Susanne: „Wenn das Wasser hinausginge, gäbe es einen luftleeren Raum.“ Samuel: „Die Schwerkraft zieht das Wasser hinunter, eine andere Kraft zieht es hinauf. Das hat etwas mit dem Vakuum zu tun.“ Rachel: „Ich denke, das hat mit der Luft zu tun, mit dem Druck, nicht mit der Schwerkraft.“ David: „Würde das Wasser hinausfliessen, wenn das Glas nicht ganz gefüllt wäre?“ Manuela: „Das können wir ausprobieren.“ Wir führen das Experiment durch, das Wasser bleibt auch so im Glas. Erst wenn wir das Glas aus dem Wasser herausziehen, läuft das Wasser aus dem Glas. Kathrin: „Erst wenn die Luft hinein kann, kann das Wasser hinaus.“ Manuela: „Sonst würde ein Vakuum, ein luftleerer Raum entstehen.“

Ratlosigkeit, wie kommen wir weiter? Solche Situationen müssen ausgehalten werden. Wenn der Lehrer jetzt mit einer vorschnellen Erklärung fortfährt, ist fast alles verloren. Also nur ein Impuls, damit das Gespräch weitergeht: eine Frage stellen, einen Hinweis geben, eine Standortbestimmung vornehmen (Was wollen wir? Was haben wir bis jetzt erreicht? Was fehlt?) oder allenfalls ein zusätzliches Experiment zeigen.

Lehrer: „Erinnert ihr euch, dass Rachel eine ganz andere Erklärung hatte?“ Annie: „Sie hat etwas vom Luftdruck gesagt.“ Lehrer: „Kannst du sagen, wie sie das gemeint hat?“ Annie: „Der Luftdruck wirkt auf das Wasser im Becken und drückt das Wasser in das Glas.“ Mit ihren Händen zeigt sie, wie sie es meint. Erwin: „Mit Quecksilber würde es vielleicht hinausfliessen.“ Lehrer: „Das wäre ein interessantes Experiment, aber ich habe nicht so viel Quecksilber, um das Bierglas und das Becken zu füllen.“ Das Gespräch stockt. Lehrer: „Wo stehen wir?“ Erwin: „Wir wollen erklären, warum das Wasser nicht aus dem Glas fliesst. Wir haben zwei Theorien: Das mit dem Vakuum und das mit dem Luftdruck.“ Nun hat Christoph eine interessante Idee: „Was wäre, wenn es im Glas mehr Wasser hätte als im Becken?“ Ich nehme einen Suppenteller, halte ihn unter Wasser unter das gefüllte Bierglas

⁵¹Hartmut von Hentig: »Humanisierung« Eine verschämte Rückkehr zur Pädagogik?; S.44

⁵² Beginn bei der zweiten Inszenierung: Lehrer: „Schaut euch das an, und dann sagt, was ihr dazu denkt.“ Lange sagt niemand etwas, dann Simon: „Kannst du es nochmal machen?“ Lehrer: „Ja. Kannst du dabei beschreiben, was du siehst.“ Ich führe den Versuch nochmals durch. Simon: „Das Glas ist voll Wasser. Und das Wasser bleibt nun alles im Glas.“ Michèle: „Aber man darf das Glas nicht aus dem Wasser herausziehen.“ Lehrer: „Ja.“ Ich ziehe das Glas ganz aus dem Wasser, das Wasser läuft hinaus. Regula: „Also, sobald Luft hinein kann, läuft das Wasser hinaus“ und nach einigem Nachdenken: „Kann man den Versuch auch so durchführen, dass eine Luftblase im Glas ist?“ ...

und ziehe beides zusammen aus dem Becken. Die Schüler und Schülerinnen staunen, dass das Bierglas nicht ausläuft. Samuel: „Also hat es nichts mit dem Luftdruck zu tun.“ Susanne: „Das kann trotzdem sein.“ Lehrer: „Was ist Druck?“ Wir kennen den Begriff schon: Druck ist Kraft pro Fläche. Im Bierglas hat es zwar viel Wasser, aber es drückt auch auf eine grosse Fläche. Die Lektion nähert sich dem Ende. Lehrer: „Was haben wir erreicht?“ Christine: „Das Wasser läuft nicht aus dem Glas, weil keine Luft hinein kann.“



Die Schüler und Schülerinnen schauen gespannt zu, wie das Bierglas aus dem Wasser gezogen wird.

In dieser Lektion ging es darum, all das, was die Schüler und Schülerinnen an Erfahrung und Wissen zum Ausgangsphänomen mitbrachten (Ruf/Gallin sprechen von der singulären Welt der Schülerinnen und Schüler⁵³), zusammenzutragen, zu hinterfragen, zu klären. Das braucht Zeit, hier darf nichts übereilt werden. Es geht um das Verstehen, und das ist nur möglich, wenn alle erfahren haben, wo das Problem liegt: Ist es „die Abscheu der Natur vor der Leere“ oder „die Schwere der Luft“ (Pascal), welche das Wasser im Bierglas am Ausfliessen hindert? Eine vor-eilige Erklärung durch die Lehrkraft kann zwar auswendig gelernt werden, bleibt aber fremd. Wagenschein schreibt dazu: „Es hat also viel für sich, wenn der Unterricht nicht das »Ziel der Stunde erreicht«, sondern die Lernenden in zweifelnder Unruhe entlässt - vorausgesetzt: dass es gelang, diese Unruhe ernstlich in Gang zu bringen.“⁵⁴ Ich denke, dass es in dieser ersten Lektion gelungen ist, das Nachdenken in Gang zu bringen. Aus einer Gruppe von 6 Studenten und Studentinnen, mit denen ich auf die gleiche Weise gearbeitet habe, haben zwei zu Hause ihr Physikbuch aus dem Gymnasium hervorgeholt, ohne Erfolg allerdings, denn es gelang nicht, zu unseren Fragen und den Theorien im Buch eine Verbindung herzustellen.

2. und 3. Lektion, Samstag, 6.5.95: Das Ringen um Erklärungen: Vakuumscheu? Luftdruck?

Lehrer: „Was haben wir gestern erreicht?“ Christoph: „Wir haben zwei Theorien entwickelt und konnten noch nicht entscheiden, welche richtig ist.“ Ich führe das Experiment mit dem Bierglas nochmals vor. „Wie lauten die beiden Theorien?“ Mirjam: „Eine Theorie war, dass der Luftdruck auf das Wasser drückt und dann das

⁵³ Urs Ruf / Peter Gallin: Sprache und Mathematik in der Schule; S.26

⁵⁴ Martin Wagenschein: Die Pädagogische Dimension der Physik; S. 131

Wasser in das Glas drückt, d.h. dass es nicht hinaus kann." Mirjam: „Die andere Theorie war, dass das Wasser nicht hinaus kann, weil es sonst ein Vakuum geben würde." Simone hat die Idee, man könnte aus dem Bierglas das Wasser mit einem Rohr herausaugen und so prüfen, ob es ein Vakuum geben kann. Ich führe den Versuch durch, indem ich mit einem Schlauch Wasser aus dem Glas heraussauge, aber das Glas bleibt gefüllt! Susanne: „Wenn Du Wasser herausaugst, drückt der Druck wieder Wasser in das Glas.“ Ja, aber man könnte auch sagen, das Wasser fließt in das Glas, weil es kein Vakuum geben darf. Wir sind also nicht weitergekommen. Die Schüler und Schülerinnen wollen wissen, ob das Experiment mit dem Bierglas und dem Schlauch auch geht, wenn das Glas nicht ganz gefüllt ist. Wir probieren aus. Ja, obwohl ich Wasser aus dem Glas heraussauge, bleibt der Wasserstand im Glas immer gleich hoch. Christoph: „Oben hat es Luft, die braucht Platz.“ Wir beweisen diese Aussage, indem wir Wasser durch einen Trichter, der in einem Stopfen auf einer Flasche steckt, in die Flasche einfüllen wollen. Es gelingt nicht. Christel: „Das Wasser kann nicht hinein, weil die Luft nicht hinaus kann.“⁵⁵ Lehrer: „Was haben wir erreicht?“ Wir stellen fest, dass wir immer noch nicht wissen, ob es ein Vakuum geben kann oder nicht. Gibt es eine andere Möglichkeit, das herauszufinden? Lehrer: „Erwin hatte doch gestern die Idee, statt Wasser Quecksilber zu verwenden. Warum?“ Susanne: „Wir könnten ja auch ein grösseres Glas verwenden, weil es dort mehr Wasser drin hat.“ Ich folge diesem Vorschlag. Auch in der grossen Flasche bleibt das Wasser drin. Lehrer: „War dieses Experiment überhaupt sinnvoll?“ Christoph: „Nein, das Wasser verteilt sich auf eine grössere Fläche, der Druck ist überall derselbe.“ Silvia: „Es ist ein grösserer Druck, aber auf eine grössere Fläche.“ Nein, so kann man es nicht sagen. Manuela korrigiert: „Das Volumen ist grösser. Das Verhältnis von Volumen zu Fläche bleibt gleich wie beim Bierglas.“ Susanne: „Es wirkt eine grössere Kraft auf eine grössere Fläche.“ Also hat uns der Versuch mit dem grösseren Glas nichts gebracht. Lehrer: „Wie könnte man einen grösseren Druck erzeugen?“ David: „Wir müssten oben viel Wasser haben und unten eine kleine Fläche.“ Mirjam: „Eine Flasche.“ Ich erinnere daran, dass wir bei der Hydrostatik herausgefunden haben, dass der Druck nur von der Wassertiefe, aber nicht von der Form des Gefässes abhängt. Erwin: „Beim Tauchen hängt der Druck auf das Ohr nur von der Wassersäule über dem Ohr ab. Es spielt keine Rolle, wieviel Wasser darum herum ist.“ Manuela: „Je weiter man nach unten taucht, desto grösser wird der Druck.“ Lehrer: „Was müssen wir also tun?“ Christoph schlägt vor, einen Standzylinder anstelle des Bierglases zu nehmen. Der Standzylinder ist etwa einen halben Meter hoch. Erwin: „Ja, der Druck wäre dann etwa dreimal so gross wie beim Bierglas.“ Silvia: „Ich glaube nicht, dass das Wasser ausfließt.“ Wir führen den Versuch durch, das Wasser bleibt drin. Lehrer: „Was schliessen wir aus diesem Versuch?“ Christoph: „Es kommt nicht darauf an, ob der Druck grösser ist.“ Erwin: „Vielleicht ist er noch zu wenig hoch.“ Kathrin: „Wie hoch müsste er denn sein?“ Wir versuchen es mit einem 1,5 Meter hohen, oben geschlossenen Glasrohr, ohne Erfolg. Ratlosigkeit. Schliesslich ist es wieder Erwin: „Es braucht noch ein längeres Rohr, irgendwann muss doch die Wassersäule schwer genug sein.“ Andrea: „Aber wie stellst du dir das vor? Soll Luft hinein?“ Erwin: „Nein, es wird ein Vakuum entstehen.“ Mehrere Schüler und

⁵⁵ In der dritten Inszenierung habe ich noch folgenden Versuch gezeigt: In ein kleines Konfitürenglas stecke ich ein Stück Papiertaschentuch. Ich tauche das Glas dann mit der Öffnung nach unten vollständig unter Wasser. Als ich das Glas wieder aus dem Wasser nehme, ist das Papiertaschentuch völlig trocken. Die Situation ist jetzt noch schwieriger: Beim Bierglas fließt das Wasser nicht hinaus, beim Konfitürenglas fließt das Wasser nicht in das Glas. Das Experiment mit dem Konfitürenglas lässt sich aber leichter erklären als dasjenige mit dem Bierglas: Die Luft im Glas kann nicht hinaus und braucht Platz.

Schülerinnen sind skeptisch und können sich nicht vorstellen, dass ein Vakuum entstehen kann, aber Erwin bleibt entschieden bei seiner Idee. Susanne: „Aber ein Vakuum darf es doch nicht geben.“ Lehrer: „Das ist eine Behauptung.“ Sam: „Es kann ja nicht nur der Luftdruck sein, der auf das Wasser drückt, es braucht noch eine Kraft, die das Wasser zurückhält.“ Ich führe folgendes Experiment vor: Ich fülle einen Standzylinder mit Wasser, lege einen Kartondeckel darauf und drehe das Ganze um. Das Wasser bleibt im Gefäß. Ich denke, man staunt hier noch mehr, dass das Gewicht des Wassers den Karton nicht wegdrückt und das Wasser ausfließt. Manuela: „Ist der Luftdruck so stark?“ David: „Oder der Druck des Wassers nur klein.“ Erwin: „Wir brauchen ein ganz langes Rohr.“ Das Gespräch ist gut gelaufen, vor allem auch weil Erwin an seiner Idee festgehalten hat. Jetzt kommen wir nicht mehr weiter, denn wo sollen wir ein Glasrohr hernehmen, das mehrere Meter lang ist? Ich helfe den Schülern: „Es braucht ja nicht ein Glasrohr zu sein. Wir können auch einen Schlauch nehmen.“ Ich zeige den Schülern und Schülerinnen meinen 15 m langen, oben mit einem Hahn verschlossenen Plastikschlauch. Wir füllen ihn mit Wasser, legen das offene Ende in einen mit Wasser gefüllten Eimer und stellen das Ganze in das Treppenhaus. Nun steigen wir mit



Der lange Schlauch im Treppenhaus. Christoph hält das untere Ende des Schlauchs in Wasser, aufmerksam beobachtet von Samuel.

dem verschlossenen Ende die Treppe hoch. Zuerst läuft alles normal, das Wasser bleibt im Schlauch. Dann aber, bei etwa 10 m bleibt der Wasserspiegel stehen. In zwölf Meter Höhe, zuoberst auf der Treppe, bleibt ein fast 2 m langes Stück des Schlauches leer. Vakuum? Bevor wir die Treppe heruntersteigen, verschliesse ich unten den Schlauch, damit kein Wasser in den Schlauch hineinfließen kann. Nach dem Heruntersteigen öffnen wir den Hahn und hören, wie die Luft in den leeren Raum, das Vakuum, eindringt.⁵⁶

⁵⁶ Aus der zweiten Inszenierung: Wir haben gesehen, dass im Schlauch ein Vakuum entstanden ist. Marlen: „Mir scheint das kein Beweis für die Luftdrucktheorie. Die Wassersäule entwickelt irgendwann genügend Druck, um sich dem Vakuumsog zu widersetzen, irgendwann ist der Abwärtsdruck genügend stark, um das Vakuum entstehen zu lassen.“ (Das ist die Galilei-Idee; in der ersten Inszenierung war der Versuch mit dem Schlauch für die Schüler und Schülerinnen ein überzeugender Beweis für die Luftdrucktheorie - oder wurde diese Erklärung von mir damals allzu stark unterstützt?)

Im Schulzimmer zeichne ich das Experiment an die Wandtafel. Wir kennen die Formel für den hydrostatischen Druck und können deshalb den Luftdruck aufgrund der 10 Meter hohen Wassersäule ausrechnen:

$$p = \rho \cdot g \cdot h = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ N/kg} \cdot 10 \text{ m} = 100\,000 \text{ Pa}$$

Quecksilber ist 13,6 mal schwerer als Wasser, also müsste eine Quecksilbersäule nur 76 cm hoch sein. Im Physikzimmer hängt ein altes Quecksilberbarometer, das wir uns zum Schluss dieser Doppelstunde genau betrachten.⁵⁷

2.2.2. Erster Zwischenhalt

Nach drei Lektionen intensiven Suchens haben wir ein erstes Ziel erreicht: Wir verstehen, warum das Wasser nicht aus dem Glas herausläuft. Ein Vergleich mit dem Seminarprotokoll von Wagenschein zeigt, dass vieles ähnlich gelaufen ist, zum Beispiel taucht die Idee, dass es kein Vakuum geben darf, immer auf:

„Teilnehmer: „Wenn das Wasser unten rausginge, müsste ja oben etwas anderes rein. Es kann ja nichts anderes reingehen, weil da überall Wasser ist“

Wagenschein: „Warum muss denn da oben etwas rein?“ Teilnehmer: „Ja, sonst wäre ja da ein Vakuum“ Wagenschein: „Haben Sie etwas gegen das Vakuum?“ Gelächter.“⁵⁸

Auch die Forscher zu Beginn des 17. Jahrhunderts glaubten, dass es kein Vakuum geben dürfe. Mit den Worten „horror vacui“ beschrieben sie, dass sich die Natur vor dem Vakuum fürchtet und es deshalb nicht zulässt. So glaubte man auch, dass im Wasserbarometer ein Dampf den Raum über dem Wasser ausfüllt⁵⁹. Um das zu widerlegen, baute Pascal ein Alkoholbarometer. Man würde nun vermuten, dass die Alkoholsäule weniger hoch ist, da beim Alkohol wegen des tieferen Siedepunktes mehr Dampf entsteht. Aufgrund der kleineren Dichte des Alkohols ist die Säule aber höher als beim Wasser. Auch die Idee, dass der Versuch mit dem Bierglas nur funktioniert, wenn im Becken mehr Wasser ist, taucht bei Wagenschein auf: „Teilnehmer: „Da drin (in der Wanne) ist halt viel mehr Wasser. Da kommt es nicht gegen an. Es kann sich nicht durchdrängen. Einer gegen viele!“ Gelächter. Wagenschein: „Das ist doch richtig. Die Menge machts!“ T. (zögernd): „Wenn im

Man sieht, wie geduldig und zurückhaltend der Lehrer sein muss, damit Zweifel und Fragen entstehen!) Regula: „Der Versuch mit dem Schlauch zeigte, dass das Vakuum keine Bedeutung mehr hatte, es kann nicht mehr zurückziehen, darum ist der Luftdruck verantwortlich, dass die Wassersäule oben bleibt.“ Erika: „Es könnte doch so sein, dass das Vakuum eine Säule bis zu 10m halten kann und mehr nicht. Ich glaube, man kann beide Erklärungen brauchen.“ Marlen: „Man müsste den Versuch mit dem Schlauch unter eine 10m hohe Vakuumblocke stellen. Wenn die Luftdruck-Theorie stimmt, müsste die Säule kleiner werden, wenn die Vakuumtheorie stimmt, sollte nichts passieren.“

⁵⁷ Aus der zweiten Inszenierung an dieser Stelle: Nina: „Es gibt doch auch kleinere Barometer, mit einem Zeiger.“ Barbara: „Sie sehen aus wie Uhren, wie funktionieren die?“ Marlen: „Es gibt auch Geräte, die man aufhängen kann und die so wie einen Schnabel besitzen. Dort ist es aber umgekehrt: Wenn die Säule tief steht, ist es schön!“ Es handelt sich um das Goethe-Barometer, in dessen Besitz ich erst nach der ersten Unterrichtsdurchführung gelangte. Es wurde um 1610 erfunden und ist heute unter dem Namen Goethes bekannt, weil sich im Arbeitszimmer des berühmten Dichters ein solches Gerät befand. Ich zeige den Schülern und Schülerinnen das schöne Glasgefäß und erkläre, wie es funktioniert. Zur Messung des Luftdrucks ist es allerdings nicht sehr geeignet, weil sich Temperaturschwankungen der Luft stark auswirken. Danach zeige und erkläre ich auch das Dosenbarometer.

⁵⁸ zitiert aus den Aufzeichnungen des Seminars in Darmstadt. Dazu aus der dritten Inszenierung: Anne: „Es kann keine Luft hinein, und wenn das Wasser hinausginge, gäbe es ein Vakuum, weil keine Luft hinein könnte.“ Lehrer: „Und das stört euch?“ Sylviane: „Nein, aber das Wasser kann deshalb nicht hinaus.“

⁵⁹ Der Dampfdruck von Wasser beträgt nur etwa ein Fünftel des Luftdrucks.

Glas mehr Wasser wäre, wenn das Wasser im Glas so viel wäre wie draussen ...“ W.: „Ja, ja! Da drängen sich Experimente auf, wie?“ T: „Ja, wenn man statt der Wanne einen Suppenteller ...“⁶⁰ Oder in meiner zweiten Inszenierung: Simon: „Also wenn man oben mehr Wasser hätte, oder unten weniger, einfach so dass, oben mehr ist als unten, dann könnte man schauen, ob das obere Wasser das untere verdrängen kann.“ Lehrer: „Versteht ihr, was Simon machen will?“ Barbara: „Unten ein kleines Becken nehmen.“ Ich schlage einen Suppenteller vor. Michèle: „Aber wie wollen wir im Teller das Glas füllen?“ Regula weiss Rat: „Das Ganze im Becken füllen und dann hinausziehen.“

Im Seminar von Wagenschein tauchte noch eine weitere Frage auf, die in meinem Unterricht nicht zur Sprache kam: „Erstens: Das Merkwürdige ist, dass das Wasser drin bleibt, und das zweite Merkwürdige ist, dass ich es offenbar tragen muss“.⁶¹ Wenn doch der Luftdruck das Wasser in das Glas hineindrückt, warum ist das Glas denn so schwer, wenn ich es herausziehe? Wenn der Luftdruck das Wasser 10 m hochdrückt, sollte da nicht ein Springbrunnen entstehen, wenn das Gefäß oben ein Loch hat? Mit einem Plastikbecher kann man das leicht ausprobieren, und jeder weiss, dass das Wasser aus dem Gefäß ausfließt, sobald ein Loch vorhanden ist.

„Erkenntnisse lassen sich prinzipiell nicht aufzwingen, sie sind je neu zu erzeugen.“⁶² Voraussetzung dazu ist, dass sich die Schüler und Schülerinnen ernsthaft auf ein Problem einlassen und bereit sind, die Phase der Unsicherheit auszuhalten. Der Lehrer muss sich zurückhalten. Horst Rumpf schreibt in einem Bericht über ein Seminar von Wagenschein: „Gibt er keine Hilfen, der Wissende, der Überlegene, lässt er zappeln - und spielt er immer noch den Dummen? Nein. Er sagt ganz deutlich, jetzt, das ist das Wichtigste, das muss durchgestanden werden, da ist kein Trick, dass ich da nichts sage - wie's ist, das müssen Sie selbst schaffen.“⁶³ Meine Schüler und Schülerinnen kannten diese „nachdenkliche Aufmerksamkeit für das Unbekannte, das Erstaunliche“⁶⁴ aus dem Unterricht zum Thema „Faradays Kerze“.

4. und 5. Lektion, Samstag, 13.5.95: Hefteintrag

Die Schüler und Schülerinnen sollen das Erreichte in ihren Heften festhalten.⁶⁵ In Gruppen sitzen sie zusammen und erinnern sich an den Verlauf des Unterrichts. „Zuerst haben wir das Experiment mit dem Bierglas gemacht“ - „Ja, und dann hatten wir zwei Theorien“ - „Wie wollen wir das formulieren?“ - „Ich mache zuerst eine Zeichnung“. Die verschiedenen Gruppen kommen gut voran. Wenn es nicht mehr weitergeht, oder wenn etwas nicht mehr klar ist, helfe ich.

⁶⁰ Martin Wagenschein: Erinnerungen für morgen; S.118

⁶¹ zitiert aus den Aufzeichnungen des Seminars in Darmstadt

⁶² Horst Rumpf: Mit fremdem Blick; S.17

⁶³ Horst Rumpf: Mit fremdem Blick; S.133

⁶⁴ Horst Rumpf: Mit fremdem Blick; S. 24

⁶⁵ Aus der zweiten Inszenierung: Sandra: „Ich habe [beim Aufschreiben, U.A.] gemerkt, dass ich eigentlich doch nicht verstanden habe, wie das funktioniert.“ Lehrer: „Das ist ein wichtiges Ziel des Hefteintrags: Man schaut in Ruhe zurück, versucht, zu formulieren und merkt: Ich habe es noch nicht ganz verstanden. Kannst Du Deine Fragen formulieren, Sandra?“ Sandra: „Erika hat die Theorie mit dem Vakuum gebracht, und ich habe nicht verstanden, wie das funktionieren soll. Die Erklärung mit dem Luftdruck ist für mich leichter verständlich.“ Lehrer: „Kannst Du diese Theorie formulieren?“ Sandra: „Ich versuche es: Ich weiss, dass irgendeinmal der Luftdruck zu wenig stark ist, um die Wassersäule zu tragen und dann sinkt das Wasser ab....“

DER LUFTDRUCK

Wir füllen eine Schüssel mit Wasser. Unter Wasser füllen wir ein Bierglas und heben es leicht an. Das Wasser bleibt im Bierglas. Erst beim Herausziehen des Glases fließt das Wasser heraus.

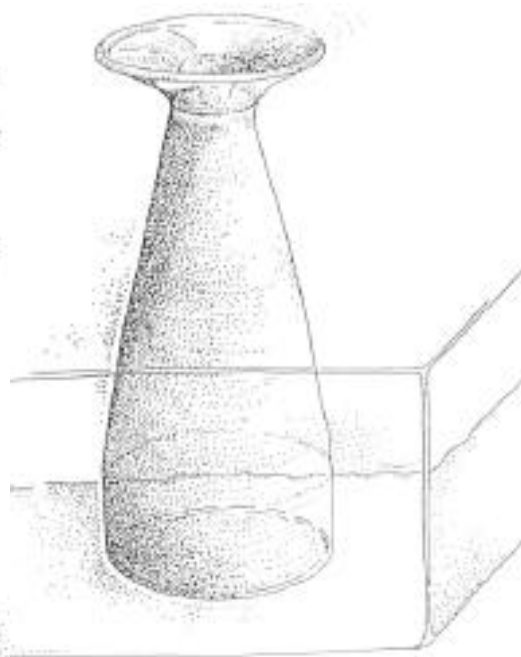
Warum strömt das Wasser beim Anheben des Bierglases nicht heraus?

Es wurden zwei Behauptungen aufgestellt:

- Es kann keine Luft hinein.
Das Wasser kann nicht heraus, weil es sonst ein Vakuum gäbe.

- Der Luftdruck drückt auf den Wasserspiegel in der Schüssel.

Welche Theorie ist richtig?
Wie können wir sie überprüfen?



Hefteintrag von Annie

Das selbständige Schreiben von Hefteinträgen ist mir wichtig, weil die Schüler und Schülerinnen dabei auf unseren Lernprozess zurückblicken. „In der Erinnerung gehen wir den gegangenen Weg noch einmal zurück und überdenken ihn, wo er schwierig wurde, wo er in die Irre führte, wo er im Dunkeln blieb und wie man zum Ziel fand.“⁶⁶ Wichtig ist, dass die Schüler und Schülerinnen selber entscheiden, was sie im Heft festhalten und wie sie es formulieren wollen. Keine Kopien, die eingeordnet und vergessen werden, sondern selbständige, oft auch anstrengende Verarbeitung.

6. Lektion, Freitag, 19.5.95: Gemeinsames Nachdenken über unser Gespräch

Die Hefteinträge sind abgeschlossen und der Stoff gleichzeitig nochmals aufgearbeitet. Auch wenn ich mir während der drei ersten Lektionen immer Mühe gegeben habe, darauf zu achten, dass alle Schüler und Schülerinnen mitkommen, ist es gerade für die Langsameren wichtig, alles nochmals in Ruhe durchdenken und mit Klassenkameraden und -kameradinnen und auch mit mir besprechen zu können. In dieser Lektion blicke ich nun zurück auf unser Gespräch. Ich lese die Gesprächsregeln von Wagenschein⁶⁷ vor. Wir vergleichen unser Gespräch mit diesen Regeln. Für die Fortsetzung des sokratischen Gesprächs sind solche Reflexionen auf der Metaebene sehr hilfreich. In Wagenscheins Seminaren mussten die Studenten Protokolle schreiben. In einem dieser Protokolle heisst es: „Es ist schon schwer, so ratlos dazustehen und sich richtig dumm vorzukommen. In der Schule war das leichter, da wurden die Fragen gestellt, auf die es ganz sichere Antworten gab. Und wenn keiner etwas wusste, der Lehrer wusste es bestimmt. Aber jetzt sollen wir plötzlich erst die Fragen erfinden und dazu auch noch Fragen, auf die wir als angehende Lehrer so plötzlich selbst keine Antwort wissen. Das ist schon eine erstaunliche Erfahrung“⁶⁸.

⁶⁶ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie, S. 409

⁶⁷ Martin Wagenschein: Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft, S.80/81

⁶⁸ zitiert aus den Aufzeichnungen des Seminars in Darmstadt

2.2.3. Vom Luftdruck zur Barometerformel

7. und 8. Lektion, Samstag, 20.5.95: Hat Luft ein Gewicht?

Wir erinnern uns daran, was wir schon erarbeitet haben: Das Wasser läuft nicht aus dem Glas, weil der Luftdruck viel grösser ist als der Wasserdruck. Eine Wassersäule muss 10 Meter hoch sein, damit ihr Druck gleich gross ist wie der Wasserdruck, nämlich 100 000 Pascal. Wenn wir anstelle von Wasser Quecksilber verwenden, ist die Säule nur 76 cm hoch. Mit einem solchen Barometer kann man den Luftdruck messen. Meist wird der Luftdruck nicht mit einem Quecksilber-Barometer, sondern mit einem Dosenbarometer gemessen. Ich habe ein solches Instrument in den Unterricht mitgebracht. David weiss, wie es funktioniert: „Eine Membran wird durch den Luftdruck verformt. Sie biegt sich nach innen oder nach aussen und das wird übersetzt und auf einen Zeiger übertragen.“ Lehrer: „Mirjam, kannst du dir das vorstellen?“ Mirjam: „Ja, der Luftdruck wirkt auf die Membran und bewegt dadurch den Zeiger.“ Anhand eines Modells (Blechbüchse mit Gummihaut verschlossen) zeige ich, was David und Mirjam gesagt haben. Ich zeige auch, wo sich bei unserem Barometer die Druckdose befindet. Unser Dosenbarometer befindet sich unter einer Glasglocke. Durch Blasen und Saugen kann ich den Luftdruck unter der Glasglocke verändern und zeigen, wie sich der Zeiger des Barometers bewegt. Ich weise auf die Wetterstation am Eingang des Schulhauses hin. Samuel weiss, dass sie neben dem Barometer noch ein Thermometer und ein Hygrometer enthält. Über den Zusammenhang von Luftdruck und Wetter werden wir später noch sprechen. Marc will wissen, warum man beim Ablesen des Dosenbarometers auf das Glas klopfen soll. Mirjam: „Vielleicht hat der Zeiger von allein zu wenig Kraft.“ David: „Die Mechanik kann die kleine Wirkung nicht wahrnehmen, erst die Erschütterung löst die Bewegung aus.“ Lehrer: „Ja, wir überwinden dadurch die Reibung.“

Lehrer: „Warum gibt es überhaupt einen Luftdruck?“ David: „Luft hat auch ein Gewicht. Wir sind unten an einer Luftsäule.“ Die übrigen Schüler und Schülerinnen reagieren nicht. Ich bitte deshalb David, seine Erklärung zu wiederholen. Christine: „Aber die Luft ist ja überall, wir können nicht sagen, was oben und was unten ist.“ Manuela: „In einem See ist ja das Wasser auch um uns herum. Und dort zählt ja auch nur die Wassersäule über dir.“ Ich erkläre, dass die Idee des „Luftmeeres“ von Torricelli (17. Jahrhundert) stammt. Der Vergleich mit dem Meer ist sehr nützlich, weil wir uns mit dem Druck im Wasser ausführlich beschäftigt haben. Rachel: „Aber man weiss ja bei der Luft nicht genau, wie hoch sie ist. Beim Meer kann man sagen, wo die Oberfläche ist.“ Samuel: „Der Luftdruck hängt auch noch von der Luftfeuchtigkeit und der Temperatur ab, deshalb braucht es drei Messgeräte.“ David: „Luft kann sich verschieben. Dort wo mehr Luft ist, ist der Druck grösser.“ Christoph: „Ja, vom Hochdruckgebiet zum Tiefdruckgebiet gibt es Winde.“ Ich versuche, das Gespräch wieder auf den zentralen Punkt zu lenken: „David hat eine Behauptung aufgestellt. Wer weiss noch welche?“ Beat: „Luft hat ein Gewicht.“ Sam: „Das kann ich mir gut vorstellen.“ Simon: „Die Luft ist in den Bergen leichter als am Meer.“ Lehrer: „Wenn Du sagst „schwerer“ und „leichter“, ist für dich offenbar klar, dass Luft ein Gewicht hat.“ Sam: „Alle Gase haben ein Gewicht.“ Lehrer: „Aber Gase fliegen doch?“ Christoph: „Ein Ballon wird mit Helium gefüllt. Helium ist leichter als Luft, deshalb fliegt der Ballon.“ Lehrer: „Kann man Luft wägen?“ Sam: „Man kann die Hülle eines Ballons wägen, den Ballon dann aufblasen und die Differenz bestimmen - falls es eine gibt.“ Lehrer: „Wir wollen nicht einen Ballon nehmen (beim Aufblasen des Ballons entsteht auch ein Auftrieb, aber das kann ich hier nicht

erklären), sondern eine Flasche.“ Kathrin: „Dann muss zuerst ein Vakuum in der Flasche sein und dann lassen wir Luft hinein.“ Annie glaubt nicht, dass es mit der Flasche geht: „Die Differenz ist viel zu klein.“ Lehrer: „Wir wollen das Experiment durchführen und schauen.“ Ich nehme eine grosse Weinflasche, die oben mit einem Gummistopfen und einem Hahn verschlossen ist. Wir wägen die Flasche. Dann pumpe ich mit einer Wasserstrahlpumpe die Luft aus der Flasche und stelle sie wieder auf die Waage. Man sieht, dass sie ein bisschen leichter geworden ist. Die Differenz beträgt 2,3 Gramm. Ist jetzt gar keine Luft mehr in der Flasche? Um das zu prüfen, halte ich den Hahn in ein mit Wasser gefülltes Becken und öffne ihn. Die Schüler und Schülerinnen staunen, wie das Wasser in die Flasche spritzt und sie fast ganz füllt. Wir messen, wieviel Wasser in die Flasche eingedrungen ist. So viel Luft haben wir nämlich weggepumpt: 1,5 Liter. Damit können wir nun die Dichte von Luft berechnen: $1,5 \text{ kg/m}^3$. Der genaue Wert beträgt $1,29 \text{ kg/m}^3$. Es ist erstaunlich, wie man mit ganz einfachen Mitteln das Gewicht der Luft bestimmen kann.



Simone, Teresa, Silvia, Susanne und Sam schauen, wieviel die leergepumpte Flasche leichter ist.

Wie schwer ist die Luft im Schulzimmer? Wir messen: $8 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 240 \text{ m}^3$, multipliziert mit der Dichte erhalten wir ca 300 kg. Annie: „Warum spüren wir nichts davon?“ Samuel: „Und warum spüren wir keinen Unterschied zwischen hier und draussen, dort sind es ja etliche Tonnen?“ Lehrer: „Du meinst, wenn wir nach draussen gehen, sollten wir einen viel grösseren Druck spüren?“ Samuel: „Ja, es ist ja viel mehr Luft über uns.“ Mirjam: „Vielleicht haben wir ein Organ, das das ausgleicht?“ Simone lacht: „Eine Schwimmblase.“ Lehrer: „Das mit der Schwimmblase ist natürlich nicht ernst gemeint, aber wie ist das mit dem Druck, den ein Fisch im Wasser erfährt?“ Die Schüler und Schülerinnen sind ratlos. Ich helfe deshalb: „Spürt ein Fisch einen Druckunterschied, wenn er unter einen Felsvorsprung schwimmt? Er hat dort doch auch weniger Wasser über sich.“ Die Schüler und Schülerinnen erinnern sich: Nein, der Druck hängt nur von der Tiefe ab, auf gleicher Höhe gleicht sich der Druck aus. Simone: „Ah ja, das stimmt.“ Lehrer: „Aber nun wissen wir immer noch nicht, warum wir den grossen Druck der Luft nicht spüren.“ Susanne: „Der Druck ist ja auch in unserer Lunge.“ Beat: „Wir atmen die Luft ein, sie ist auch in uns.“ Andrea: „Ich kann mir trotzdem nicht erklären, dass wir

nichts spüren.“ Ich nehme die Blechbüchse, über die eine Gummihaut gespannt ist und erkläre, dass zwar von oben der Luftdruck stark auf die Gummihaut drückt, aber dass von innen der gleiche Druck entgeghält und die Gummihaut deshalb nicht verformt wird.

9.Lektion, Freitag, 26.5.95: Pascals Experiment am Puy de Dôme - und wir?

Blaise Pascal stellte sich vor, dass wir am Boden eines Luftmeeres leben und der Luftdruck mit zunehmender Höhe grösser werden muss. Da er in Paris lebte und dort keine Möglichkeit hatte, mit einem Barometer auf einen Berg zu steigen, schlug er dieses Experiment seinem Schwager vor, der in Clermont Ferrand am Fusse des 1465m hohen Puy de Dôme lebte. Ich lese den Schülern und Schülerinnen den Brief vor, in dem der Schwager über diese Expedition berichtet. Er stellt fest, dass die Quecksilbersäule auf dem Puy de Dôme 8,2 cm weniger hoch ist als in Clermont: „Dies erfüllte uns alle mit Bewunderung und Erstaunen und überraschte uns dermassen, dass wir, um uns von der Richtigkeit zu überzeugen, den Versuch noch fünfmal sehr sorgfältig an verschiedenen Stellen des Gipfels wiederholten, sowohl unter Dach in einer kleinen Kapelle, die sich dort befindet, als auch unter freiem Himmel, an geschützter Stelle, sowie im Winde,...“ (Brief von Périer an Pascal, 1648 ⁶⁹).



Die Besteigung des Puy de Dôme
mit einem Barometer durch Périer
1648

Pascals Schwager berichtet, dass er das Experiment auch auf einem Turm in Clermont gemacht habe. Wir wollen das Experiment im Schulhaus durchführen. Mit dem Quecksilberbarometer steigen wir deshalb zuerst in den Keller, lesen ab und steigen dann in den dritten Stock. Um einen Millimeter ist die Quecksilbersäule gesunken. Eine kleine Differenz, aber es ist doch erstaunlich, dass man das überhaupt sieht.

Als wir wieder im Schulzimmer um den Tisch versammelt sind, stelle ich folgende Frage: „Wie hoch müsste unsere Atmosphäre sein, um einen Luftdruck von 100 000

⁶⁹ Bericht über die von Périer am Fusse und auf dem Gipfel des Puy de Dôme angestellten Barometerbeobachtungen; In: Peter Buck / Hans Christoph Berg: Kristallisationskeime, ein Lesebuch zur Pädagogik Martin Wagenscheins; S. 82-86

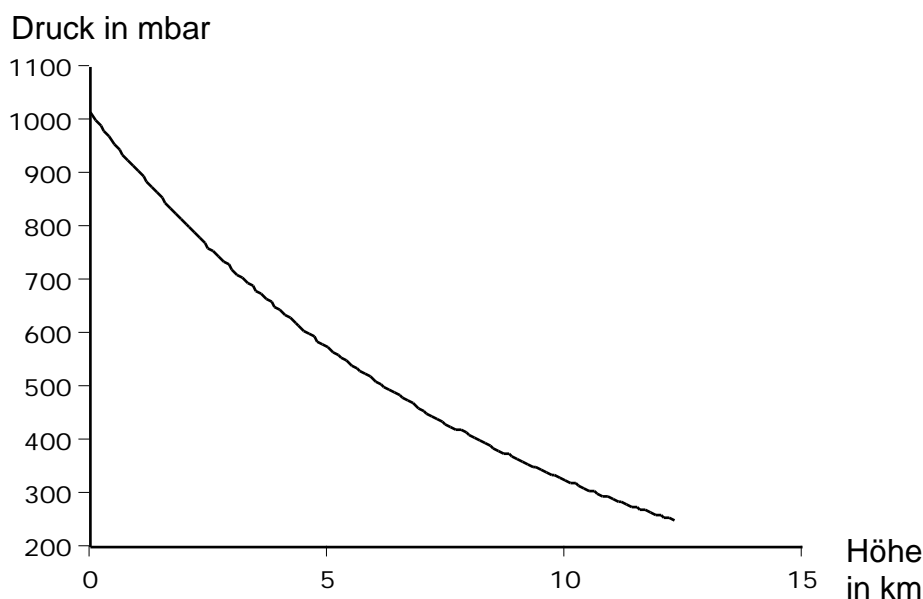
Pascal zu erzeugen?“ Die Schüler und Schülerinnen sind ratlos. Ich frage: „Wie berechnet man den Druck?“ Beat: „Kraft durch Fläche.“ Ich rechne an der Tafel vor:

$$p_{\text{Luft}} = \text{Gewicht der Luft} / \text{Fläche} = \rho_{\text{Luft}} \cdot g \cdot h_{\text{Atmosphäre}}$$

mit $\rho_{\text{Luft}} = 1,3 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,81 \text{ N/kg}$ und $p_{\text{Luft}} = 100\,000 \text{ Pa}$ erhält man:

$$h_{\text{Atmosphäre}} = 7840 \text{ m}$$

Simone: „Das ist ja wahnsinnig wenig!“ Erwin: „Der Mt. Everest ist ja höher! Und der wurde doch schon ohne Sauerstoffmasken bestiegen.“ Schülerin: „Taucher trainieren ja auch, dass sie länger unter Wasser bleiben können.“ Erwin: „Bergsteiger können aber nicht bei 7800 Metern einfach die Luft anhalten.“ Gelächter. Kathrin: „Ich nehme an, dass es oben weniger Luft hat. Es ist ja nicht eine Linie und dann hat es nichts mehr.“ Erwin: „Aha, 7800 m wäre die Höhe, wenn die Dichte der Luft überall gleich wäre.“ Das haben nicht alle verstanden, und Erwin muss es nochmals erklären. Lehrer: „Reinhold Messner hatte Mühe, auf dem Mt. Everest zu atmen, weil es dort weniger Luft hat. Wenn wir auf dem Mt. Everest die Dichte der Luft bestimmen würden, bekämen wir einen viel kleineren Wert. Im Wasser ist das anders, dort ist die Dichte immer gleich.“ Ich zeichne das folgende Diagramm an die Wandtafel:



In 5,5 km Höhe ist der Luftdruck nur noch halb so gross, in 11 km noch ein Viertel usw. Mathematisch wird die Abnahme des Luftdrucks durch eine Exponentialfunktion beschrieben:

$$p = p_0 \cdot e^{-\frac{h}{H}}$$

p_0 ist der Luftdruck auf Meereshöhe

h ist die Höhe, in der wir den Druck ausrechnen wollen

H ist eine Konstante. Ihr Wert beträgt ca. 8000 m

Die Exponentialfunktion ist für die Schüler und Schülerinnen neu. Ich zeige ihnen, wie sie die Exponentialfunktion auf ihrem Taschenrechner eintippen können. Wir

berechnen dann zusammen den Luftdruck von Bern (537 m über Meer) und auf dem Jungfrauoch (3454 m).

„Kinder und Jugendliche sollen erfahren, ... wie aus ersten Fragen zunächst noch vage Hypothesen entstehen, wie sich eine Frage nur durch genaues Beobachten beantworten lässt, wie sich ein Experiment von der Sache her aufdrängt, wie in zunehmendem Masse Begriffe und Zusammenhänge deutlicher und präziser werden.“⁷⁰ Peter Labudde beschreibt hier sehr schön, wie sich unser Unterricht entwickelt hat: Ausgehend von einer Beobachtung aus dem Alltag, dem Gläser-spülen, haben wir uns mit dem Luftdruck beschäftigt und ihn nun auch formelmässig erfasst. Der Unterschied zum klassischen Physikunterricht besteht im genetischen Prozess darin, dass die Fachausdrücke und Formeln langsam aus Beobachtungen und Diskussionen herauswachsen. Diesen Aufbau von physikalischen Begriffen hat Wagenschein⁷¹ ausführlich beschrieben. Er unterscheidet drei Phasen:

Phase I: Ausgehend von einem erstaunlichen Phänomen wird nach Ideen zur Erklärung gesucht. „Die Worte sind Ausdruck des Suchens“ (Wagenschein).

Phase II: Nachdem das Phänomen verstanden ist, geht es jetzt darum, die Erklärung zu formulieren. Der Lernende „denkt jetzt nach, wie man das sagen kann“ (Wagenschein).

Phase III: Erst jetzt soll die Fachsprache eine knappe und präzise Formulierung ermöglichen. Wenn die Fachsprache keine Geheimsprache bleiben soll, muss sie aus Phase II herauswachsen, die Fachausdrücke müssen sich aufdrängen.

Wagenschein fasst die drei Phasen wie folgt zusammen: „Erst erfasse es, dann sage es beteiligt, schliesslich fasse es nüchtern.“

2.2.4. Die Demonstration des Luftdrucks

10. Lektion, Samstag, 27.5.95: Guerickes Demonstration - und wir?

Der Luftdruck ist uns nun schon bekannt. In dieser Lektion will ich einige Experimente vorführen, die die Wirkung und die erstaunliche Grösse des Luftdrucks demonstrieren. Ich beginne mit dem wohl berühmtesten Experiment, den Magdeburger Halbkugeln. Ich füge die beiden Halbkugeln aus der Physiksammlung zusammen, öffne den Hahn und setze die Wasserstrahlpumpe in Betrieb. Dann schliesse ich den Hahn und lasse die Schüler und Schülerinnen versuchen, die Halbkugeln auseinanderzureissen. Es gelingt nicht. Ich öffne nun den Hahn, ein zischendes Geräusch verrät die in die Kugel einströmende Luft und die Halbkugeln lassen sich mühelos wieder trennen. Die Schüler und Schülerinnen sind beeindruckt, und den Zuschauern in Magdeburg muss es 1657 genauso ergangen sein, als selbst 16 Pferde die Kugeln nicht trennen konnten. Ich zeige den Schülern und Schülerinnen den berühmten Kupferstich der Demonstration von Otto von Guericke und Photos der Halbkugeln, die im Deutschen Museum in München ausgestellt sind.

⁷⁰ Peter Labudde: Erlebniswelt Physik; Seite 187.

⁷¹ Martin Wagenschein: Die Pädagogische Dimension der Physik; S. 131-138



Demonstration der Wirkung des Luftdrucks durch Otto von Guericke 1657 in Magdeburg.

Otto von Guericke, Bürgermeister von Magdeburg und Naturforscher, schreibt: „Ich liess zwei Halbkugeln aus Kupfer, von ungefähr $\frac{2}{3}$ Magdeburger Ellen Durchmesser, anfertigen. Die Halbkugeln passten gut aufeinander. Auch war die eine mit einem Ventil versehen, mit dessen Hilfe die im Innern befindliche Luft herausgesogen werden konnte. ... Diese Schalen habe ich ... aufeinandergelegt und darauf die Luft schnell herausgepumpt. ... Von dem Druck der äusseren Luft zusammengepresst, waren sie so fest verbunden, dass sechzehn Pferde sie nicht oder nur mit Mühe voneinander reissen konnten. Gelang es endlich mit Aufbietung aller Kraft, sie zu trennen, so verursachte dies ein Geräusch wie ein Büchschenschuss.“⁷²

Über einen Glaszylinder spanne ich eine Cellophanfolie und sauge dann die Luft aus dem Zylinder. Mit einem lauten Knall reisst die Folie. Als nächstes lege ich einen nur wenig aufgeblasenen Ballon unter eine Glasglocke, die ich evakuieren kann. Was wird passieren? Die erste Reaktion der Schüler und Schülerinnen: Der Ballon wird schrumpfen. Aber halt: Der Druck im Innern des Ballons bleibt ja gleich, und der Druck rundherum nimmt ab, also wird sich der Ballon ausdehnen. Ich schliesse die Pumpe an, und der Ballon füllt nach einiger Zeit fast die ganze Glasglocke aus. Als letztes lege ich einen Schokoladekopf unter die Glasglocke und pumpe wieder die Luft aus der Glasglocke. Die Schokoladeschicht reisst und der weisse, luftige Inhalt quillt heraus, weil sich die Luftbläschen ausdehnen. Die Schüler und Schülerinnen sind begeistert. Enttäuschung aber dann, als ich wieder Luft in die Glasglocke einströmen lasse, die weisse Masse sinkt in sich zusammen.

11. Lektion, Samstag, 27.5.95: Historischer Überblick

Wagenschein: „Ich würde dann auch die Personen, die da auftreten, Pascal etwa, durchaus nicht bloss erwähnen, sondern ich würde etwas über Pascal sagen, gründlich, nicht bloss so eine Figur, im Buch, Kleingedrucktes, Huyghens mit einer Perücke. Da wird so ein kleiner Bub nur denken: »Guck, auch unter der Perücke kann man gut denken.«“⁷³

⁷² Friedrich Dannemann: Aus der Werkstatt grosser Forscher; S. 87/88.

⁷³ zitiert aus den Aufzeichnungen des Seminars in Darmstadt

In der folgenden Übersicht sind die berühmtesten Erforscher des Luftdrucks, alles Zeitgenossen, mit einem Satz vorgestellt. Im Unterricht habe ich von diesen Forschern erzählt und Lichtbilder gezeigt.

Historischer Überblick⁷⁴

Galilei (1564-1642) wusste, dass eine Pumpe das Wasser nur 10m hochziehen kann.	Toricelli (1608-47) zeigte, dass über einer 76 cm hohen Quecksilbersäule ein Vakuum ist.	Pascal (1623-62) bewies, dass der Luftdruck durch das Gewicht der Luft entsteht.	v.Guericke (1602-86) erfand die Luftpumpe und führte Experimente zur Demonstration des Luftdrucks durch.
---	--	--	--

Lassen wir abschliessend noch den Philosophen, Mathematiker und Physiker Blaise Pascal zu Wort kommen:

„... dass in der Physik die Experimente die wahren Meister sind, bei denen man in die Lehre gehen muss; und dass jener auf den Bergen angestellte Versuch den Allerweltsglauben, die Natur verabscheue die Leere, zertrümmert hat, um dafür die nie mehr zu erschütternde Erkenntnis zu vermitteln, dass die Natur keinerlei Scheu vor dem Leeren kennt, ... und dass die Schwere der Luftmassen die wirkliche Ursache all jener Erscheinungen ist.“⁷⁵

2.2.5. Zweiter Zwischenhalt

12. und 13. Lektion, Freitag, 2.6. und Samstag, 9.6.95: Vertiefen und Festhalten

Die Schüler und Schülerinnen haben zwar zu Hause oder in Zwischenstunden an ihrem Heft gearbeitet, aber sie brauchen nun auch Zeit, um im Unterricht die Einträge abzuschliessen. Die Figur mit der Exponentialfunktion und der historische Überblick stehen an der Wandtafel, die Experimente stehen auf dem Tisch, auch das Buch mit dem Brief an Pascal und eine Biographie von Pascal. Das Bild mit dem Experiment der Magdeburger Halbkugeln habe ich für die Schüler und Schülerinnen kopiert.

2.2.6. Luftdruck und Wetter

14., 15. und 16. Lektion, Samstag, 10.6. und Freitag, 16.6.95: Mit dem Barometer zum Wetter

In diesen drei Lektionen habe ich die Unterrichtsform gewechselt. Die selbständige Arbeit mit Lehrbüchern scheint mir für die Erarbeitung der Grundlagen des Wetters geeigneter als das sokratische Gespräch. Lehrkunst heisst: Inszenieren eines Lehrstücks. Je nach Thema kommen dabei innerhalb eines Lehrstücks verschiedene Unterrichtsformen zur Anwendung. Also nicht didaktische Monokultur, sondern geeignete Auswahl von Unterrichtsformen aus einem breiten Methodenrepertoire. Ich habe den Schülern und Schülerinnen Bücher zur Verfügung gestellt und ihnen den Auftrag gegeben, in Gruppen den Zusammenhang zwischen Luftdruck und Wetter zu erarbeiten und in ihrem Heft festzuhalten. Goethe schreibt: „Die Witterung offenbart sich uns ... vorzüglich durch Wärme und Kälte, durch Feuchte und Trockne ... Merkwürdig ist es aber, dass gerade die wichtigste Bestimmung der atmosphärischen Zustände von dem Menschen am allerwenigsten bemerkt wird: ... die

⁷⁴ Daten nach Károly Simonyi: Kulturgeschichte der Physik, S.232-236

⁷⁵ Blaise Pascal; zitiert nach Albert Béguin: Pascal; S. 23/24.

Veränderung, die uns das Barometer anzeigt.“⁷⁶ Hier kann es natürlich nur um die Erarbeitung der elementaren Grundlagen des Wetters gehen, denn im Detail ist die Meteorologie sehr komplex. Nachfolgend eine Seite aus dem Heft von Annie⁷⁷ (im Original farbig):

DAS WETTER

Eine Seefläche, Wiese, Wald oder Felsen erwärmen sich unterschiedlich. Die über dem Boden liegende Luft erwärmt sich, dehnt sich aus, wird leichter und steigt auf. Wo warme Luft vom Boden aufsteigt, muss neue von der Seite her nachströmen, was über weite Gebiete als Wind spürbar sein kann. Das heisst Luft gerät in Bewegung, weil die Erdoberfläche von der Sonne unregelmässig bestrahlt wird und weil sich der Boden nicht überall gleich erwärmt. Luft hat die Möglichkeit Wasser aufzunehmen. Wieviel sie aufnimmt, hängt von der Wärme der Luft ab. Je wärmer die Luft ist, desto mehr Feuchtigkeit kann sie aufnehmen. Wird sie aber abgekühlt, so kommt plötzlich der Augenblick, wo die Luft die Feuchtigkeit nicht mehr halten kann, kleine Tröpfchen werden sichtbar.

Feuchte Luft wird vom Wind vom Bergabgeblasen. Sie steigt die Bergflanke hinauf und kühlt sich ab. Die abgekühlte Luft kann nicht mehr alle Feuchtigkeit behalten. Es bilden sich Wolken, dann beginnt es zu regnen. Auf der anderen Seite der Bergflanke sinkt die Luft wieder ab und wird wärmer. Die Wolken verschwinden. Die Luft ist trocken und klar.



Die Sonne erwärmt den Boden. Dieser erhitzt feuchte Luft. Die heisse Luft steigt schnell weit hinauf und kühlt sich ab. Die starke Abkühlung kann grosse Wolkentürme wachsen lassen und heftige Regenschauer bringen.

Feuchte, wärmere Luft wird vom Wind über ein Gebiet mit kälterer Luft geschoben. Dort wird sie abgekühlt und kann nicht mehr alle Feuchtigkeit behalten. Es gibt Wolken, denn Regen.



Kalte Luft fliesst heran und stösst auf feuchte, wärmere Luft. Diese wird in die Höhe gehoben, abgekühlt und kann nicht mehr alle Feuchtigkeit behalten. Es bilden sich Wolken, denn regnet es.

⁷⁶ Johann Wolfgang Goethe: Versuch einer Witterungslehre; In: J.W.Goethe: Schriften zur Naturwissenschaft; S. 238.

⁷⁷ vgl. Geographie in der Schweiz; Seite 78, Staatlicher Lehrmittelverlag Bern, 1989.

2.2.7. Rückblick

„Die Überlegung findet ihren Zeitpunkt weit schicklicher nach als vor der Tat“⁷⁸ Heinrich von Kleist illustriert seinen Rat am Beispiel des Ringers: Während des Kampfes muss er sich auf seine augenblickliche Eingebung verlassen. Nach dem Kampf kann er dann überlegen, „durch welchen Druck er seinen Gegner niederwarf, oder welches Bein er ihm hätte stellen sollen, um sich aufrecht zu erhalten“. Beim Unterrichten von Lehrstücken scheint mir dieser Rat besonders wichtig. Da die Lernenden stark in das Geschehen einbezogen sind, wird der Verlauf des Lehrstücks jedesmal etwas anders sein. Die dramaturgische Linie (die „Folge von Handlungseinheiten“⁷⁹) aber wird gleich sein. Im Dschungel der von den Lernenden geäußerten Vermutungen, Fragen und Ideen muss sich der Lehrer auf seine „augenblickliche Eingebung“ (Kleist) verlassen. Die dramaturgische Linie hilft ihm, dass er sich nicht verirrt. In der Reflexion über den Verlauf der einzelnen Lektionen kann der Lehrer dann analysieren, wo er in einer nächsten Durchführung anders handeln würde. Einige Erträge aus solchem Kleistischen Nachdenken sind in den Unterrichtsbericht eingeflossen und in der zweiten und dritten Inszenierung fruchtbar geworden. Hier soll nun noch die dramaturgische Linie festgehalten werden:

1. Akt: Warum fließt das Wasser nicht aus dem Glas? Vakuum-Scheu oder Luftdruck? Die Entscheidung zugunsten des Luftdrucks bringt das Experiment mit dem langen Schlauch.

2. Akt: Warum gibt es einen Luftdruck? Die Antwort lautet: Weil die Luft ein Gewicht hat. Dieses Gewicht können wir messen. In Gedanken begleiten wir Pascals Schwager auf den Puy de Dôme: Der Luftdruck nimmt mit der Höhe ab. Mit einem Barometer können wir das im Schulhaus nachprüfen und kommen schliesslich zur Barometerformel.

3. Akt: Die Magdeburger Halbkugeln und weitere Experimente führen uns die Stärke des Luftdrucks vor Augen.

4. Akt: An den Schwankungen des Luftdrucks kann das Wetter abgelesen werden. Wir studieren den Zusammenhang zwischen Luftdruck und Wetter.

Ein Lehrstück soll ein „Menschheitsthema“ behandeln, ein Thema, „das die Menschen anhaltend und immer wieder neu beschäftigt hat“⁸⁰. Erfüllt der Luftdruck diese Bedingung? Gewiss, denn dass die Luft, kaum spürbar für uns, einen so gewaltigen Druck ausübt und dass die Schwankungen dieses Drucks unser Wetter bestimmen, ist eine der grossen Entdeckungen der Naturwissenschaft. Und dass wir durch eine einfache Beobachtung beim Gläseraspülen und durch eigenes Nachdenken und Experimentieren dieses Thema erschlossen haben, macht es zu einer wertvollen Unterrichtseinheit. Lassen wir zum Schluss noch eine Schülerin zu Wort kommen. Silvia erinnert sich ein Jahr nach der Durchführung von „Pascals Barometer“: „Es war faszinierend, wie wir im Treppenaus den Schlauch hinaufzogen.“

⁷⁸ Heinrich von Kleist: Von der Überlegung; In: Sämtliche Werke, S. 881

⁷⁹ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S. 393

⁸⁰ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S. 386

2.2.8. Vergleich der Inszenierungen von 1995, 1998 und 1999

Alle Inszenierungen wurden mit Klassen des Lehrerseminars⁸¹ durchgeführt. 1995 wurde das Lehrstück am Ende der 10.Klasse durchgeführt. Die Klasse bestand aus 13 Schülerinnen und 8 Schülern. Diese Klasse hat von Anfang an sehr gut auf den genetisch-sokratischen Unterricht angesprochen. Mit ihr habe ich im Laufe der Fachausbildung Physik und Chemie die Lehrstücke „Faradays Kerze“, „Pascals Barometer“, „Himmelskunde“ und „Chemisches Gleichgewicht“ inszeniert. Für den Unterricht von „Pascals Barometer“ standen mir pro Woche drei Stunden zur Verfügung: eine Einzelstunde am Freitag und eine Doppelstunde am Samstag.

1998 fand das Lehrstück am Anfang einer 13.Klasse mit 13 Schülerinnen und 6 Schülern statt. Ich hatte in dieser Klasse jede Woche eine Doppelstunde zur Verfügung. Aufgrund der grösseren Vorbildung in Physik erfasste diese Klasse die physikalischen Inhalte etwas schneller, so dass insbesondere der erste Akt etwas weniger Zeit in Anspruch nahm als 1995. Das sokratische Gespräch war bei der zweiten Inszenierung aber schwieriger, da Spannungen in der Klasse bemerkbar waren.

1999 fand das Lehrstück am Anfang der 12.Klasse statt. Die Klasse setzte sich aus 19 Mädchen und 3 Knaben zusammen, also eine grosse Mehrheit von Mädchen! Auch diesmal hatte ich jeweils eine Doppelstunde pro Woche zur Verfügung. Der Unterricht verlief auch diesmal ähnlich wie in den vorangehenden Inszenierungen.

Inhaltlich neu dazugekommen sind in der zweiten und dritten Inszenierung vor allem:

- 1) Die Idee von Galilei mit der begrenzten Kraft des Vakuums. Die entsprechende Textstelle in den Discorsi (vgl. Kapitel 2.3.3.2.) kannte ich 1995 noch nicht.
- 2) Das Goethe-Barometer, in dessen Besitz ich erst nach der ersten Inszenierung gelangte.

Das Goethe-Barometer wurde in beiden Inszenierungen von den Schülern und Schülerinnen erwähnt. Die Idee der beschränkten Kraft des Vakuums wurde in der zweiten Inszenierung von einer Schülerin vorgeschlagen (siehe Fussnote 56), in der dritten Inszenierung musste ich diese Idee in den Unterricht einbringen.

- 3) Etwas breiter angelegt war in beiden Inszenierungen der historische Überblick, indem ich nicht nur die beteiligten Physiker vorstellte, sondern auch das kulturelle und politische Umfeld kurz darstellte.

4) Angeregt durch Hans Christoph Berg wurden Pascals Biographie und seine Luftdruck-Untersuchungen im Zusammenhang mit den Zeitgenossen Torricelli und Descartes in der dritten Inszenierung ausführlich besprochen. Es ging vor allem darum, den Paradigmenwechsel deutlicher zu machen.

- 5) Als Ergebnis eines Seminars in Naurod, März 99, wurde der Begriff „Vakuum“ in der dritten Inszenierung gründlicher diskutiert: Vom luftleeren Raum im langen Schlauch (der aber noch etwas Wasserdampf enthält) zum fast leeren Raum (der heute mit guten Pumpen erreicht werden kann und den wir auch im Weltraum finden), weiter zum physikalisch denkbaren, materiefreien Raum, der aber noch

⁸¹ Die Schüler und Schülerinnen treten nach der 9.Klasse in das Lehrerseminar ein. Sie werden in fünf Jahren [3,5 Jahre mit Schwergewicht auf der fachlichen Ausbildung, dann 1,5 Jahre mit Schwergewicht auf der berufsspezifischen Ausbildung (Didaktik, Pädagogik, Psychologie und Unterrichtspraktika)] zu Lehrern für die Volksschule (1. bis 9.Schuljahr) ausgebildet. Ab 2001 wird diese seminaristische Ausbildung durch eine universitäre Lehrerbildung ersetzt.

1.Inszenierung: 1995
Ende 10.Klasse
16 Stunden

1. Woche

Bierglas	
horror vacui? Luftdruck?	der lange Schlauch

2. Woche

Rückblick	Heft

3. Woche

Metaebene: das sokr. Gespräch	
das Gewicht	der Luft

4. Woche

Puy de Dôme	
Guericke	historischer Überblick

5. Woche

Rückblick, Heft	

6. Woche

Heft	
Wetter	Wetter

7. Woche

Wetter

2.Inszenierung: 1998
Anfang 13.Klasse
16 Stunden

Vom Bierglas	zum langen Schlauch
--------------	------------------------

Barometer	Metaebene: das sokr. Gespräch
-----------	-------------------------------------

Puy de Dôme	Gewicht der Luft
-------------	---------------------

Guericke	historischer Überblick
----------	---------------------------

Heft	Heft
------	------

didaktische Interpretation	Rückmeldungen schreiben
-------------------------------	----------------------------

Ferien

Wetter

Wetter

3.Inszenierung: 1999
Anfang 12.Klasse
16 Stunden

Bierglas	horror vacui? Luftdruck?
----------	-----------------------------

der lange Schlauch	Barometer
-----------------------	-----------

Heft	Gewicht der Luft
------	---------------------

Puy de Dôme	Pascal
-------------	--------

Guericke	historischer Überblick
----------	---------------------------

Heft	Heft
------	------

Ferien

Wetter

Wetter

Lernkontrolle	Metaebene: Lehrkunst
---------------	-------------------------

Strahlung und Felder enthält, bis zum völlig leeren Raum (dem Nichts), der nicht mehr Gegenstand der Physik, sondern der Philosophie ist.

2.2.9. Rückmeldungen zur zweiten Inszenierung von Pascals Barometer

Nach den ersten drei Akten habe ich den Schülern und Schülerinnen eine Unterrichtsstunde zur Verfügung gestellt, um Rückmeldungen zu schreiben. Viele Schüler und Schülerinnen gehen ausführlich auf das sokratische Gespräch ein, zum Beispiel Regula: „Ich habe mich schon zum Voraus auf dieses Quartal gefreut, da wir wussten, dass wir wieder sokratisch arbeiten würden.“

Es war diesmal nicht einfach, denn einigen Schülern und Schülerinnen fiel es schwer, andern zuzuhören, insbesondere wenn sie glaubten, schon begriffen zu haben. Gelegentlich diskutierten plötzlich mehrere Gruppen untereinander, manchmal war die Stimmung auch leicht gereizt. In diesen Situationen musste ich dann eingreifen, beruhigen, an die Gesprächsregeln erinnern. Marlen schreibt dazu: „Manchmal waren wir ungeduldig und dann wurde es mühsam.“ Regula: „Ich fand es gut, dass du uns immer wieder aufgefordert hast, besser zuzuhören und nicht gleich dreinzuschwatzen. Ich habe nämlich gemerkt, dass ich damit Mühe habe, und auch ein grosser Teil der Klasse. Aber trotzdem habe ich mich sehr wohl gefühlt während den Stunden.“ Und Erika: „Der Klasse haben die Gespräche gut getan. Es will gelernt sein, auf andere, vielleicht widersprüchlich erscheinende Ideen einzugehen, nicht zu unterbrechen, ...“. Wie schwierig die Situation war, zeigt auch die Rückmeldung von Marianne: „Für mich ging es zu schnell vorwärts. Leider kann man in unserer Klasse nicht so lange nachfragen, bis man wirklich begreift, ohne dass die schnelleren ungeduldig werden oder man wegen Begriffsstutzigkeit ausgelacht wird.“ Martin Wagenschein meint dazu: Langsam sein heisst nicht unbedingt schwach sein, es kann auch heissen: gründlich sein, nicht zufrieden sein mit einer schnellen Erklärung, sondern bereit sein, kritisch nachzufragen, bis man wirklich verstanden hat.⁸²

Offenbar erleben die Schüler und Schülerinnen in vielen Fächern den traditionellen Unterrichtsstil. Barbara schreibt: „Unterricht, bei dem wir selber aktiv sein müssen, gefällt mir besonders. In letzter Zeit konnten wir in sehr vielen Fächern nur passiv zuhören.“ Und Markus: „Ich würde viel geben, um vermehrt solchen Unterricht auch in andern Fächern zu haben.“ Als Abschluss der Rückmeldungen zum sokratischen Gespräch noch Marlen: „Das sokratische Gespräch ist zwar zeit- und nervenraubend, aber ich glaube, dass Wissen, welches selber erworben wird, länger bleibt, besser durchdacht, sicherer und auf jeden Fall kostbarer ist als vermitteltes Wissen.“

Ich hatte den Schülern und Schülerinnen die Zeichnung von Ruedi Pfirter⁸³ auf den Hellraumprojektor gelegt, und auf diese Bilder beziehen sich auch die Kommentare zum Inhalt des Lehrstücks. Michael: „Die Experimente und Versuche werden mir sicher noch lange in Erinnerung bleiben. Zum Beispiel der Versuch mit dem Schlauch im Treppenhaus, den werde ich nicht vergessen und daher auch nicht, was er uns zeigt.“ Und Michèle zu diesem Experiment: „Der Schlauch-Versuch

⁸² Martin Wagenschein: Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft; S.82: „Der Lehrer „weiss, dass bei der üblichen straffen Flüchtigkeit des Vorgehens mancher schwach wird, nicht »mitkommt«, weil er keine flüchtige Natur ist, sondern bedächtig, nachdenklich, gründlich.“

⁸³ siehe Seite 61

gefiel mir ganz besonders gut, denn dort wurde mir zum ersten Mal die Kraft des Luftdrucks bewusst. Faszinierend.“

Sandra: „Ich fand den Versuch zur Bestimmung des Gewichts der Luft sehr eindrücklich. Die Erklärung mit der Luftsäule fand ich dann logisch. Ich konnte mir nun ein genaueres Bild machen, wie ich mir den Luftdruck vorstellen muss.“

Barbara: „Die Messung des Gewichts der Luft fand ich sehr spannend - denn dass Luft ein Gewicht hat, wäre mir nie in den Sinn gekommen.“

Allgemein wurden immer wieder die Experimente gelobt. Keine gute Resonanz fand dagegen das Vorlesen des Briefwechsels zwischen Pascal und seinem Schwager über die Besteigung des Puy de Dôme mit dem Barometer: Barbara: „Ich war ein bisschen zu müde, um dieser Geschichte von Anfang bis Ende zu folgen. Erst nach und nach begriff ich den Zusammenhang“ und Sandra: „Der Text, den Du vorgelesen hast, brachte mir nicht sehr viel. Mir ging das ganze etwas schnell und erst durch den eigenen Versuch [im Treppenhaus U.A.] konnte ich mir vorstellen, was Pascal wollte.“

Zum Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln schreibt Sandra: „Ich fand es sehr eindrücklich, dass Luftdruck eine solche Kraft haben kann.“ Und Barbara: „Den Versuch kannte ich schon. Ich fand ihn aber erneut sehr eindrucksvoll und er wischte letzte Zweifel ganz weg.“

Mirjam, die das Lehrstück 1995 schon erlebt hatte - sie hat wegen eines Auslandjahres die Klasse gewechselt -, schreibt: „Ich habe festgestellt, dass ich noch relativ viel wusste.“ Erika beschliesst ihre Rückmeldung - und damit will auch ich diese Sequenz abschliessen - „es isch es guets Quartal gsi! Merci.“

2.2.10. Lernkontrolle nach der dritten Inszenierung

Im Anschluss an die dritte Inszenierung von „Pascals Barometer“ habe ich eine Lernkontrolle durchgeführt. Die Schüler und Schülerinnen hatten eine Lektion Zeit:

Aufgabe 1: Schreiben Sie einen ausführlichen Text zum Thema:

Pascals Experiment am Puy de Dôme

(Beschreibung des Experiments, mit Zeichnung; Was hat man beobachtet?

Was ist die Erkenntnis aus dieser Beobachtung?)

Aufgabe 2: Beantworten Sie drei der folgenden Fragen:

- a) Wie entstehen Wolken?
- b) Zeichnen Sie in einem Diagramm den Zusammenhang von Luftdruck und Höhe auf (Achsen mit Zahlen anschreiben). Wie heisst dieser Zusammenhang mathematisch?
- c) Beschreiben und erklären Sie das Experiment mit den Magdeburger Halbkugeln.
- d) Warum finden wir auf dem Äquator Regenwälder und nicht Wüste, obwohl es dort am heissesten ist?
- e) Beschreiben Sie, wie wir das Gewicht der Luft gemessen haben. Welchen Wert haben wir erhalten? Vergleichen Sie die Dichte von Luft mit der Dichte von andern Stoffen.
- f) Warum spielt es beim Versuch mit dem langen Schlauch im Treppenhaus keine Rolle, wie gross der Durchmesser des Schlauches ist?

Bewertung: Aufgabe 1: 3 Punkte, Aufgabe 2: jede Frage 1 Punkt (Note = Punktzahl)

Auswertung der Lernkontrolle

1. Alle Schüler und Schülerinnen haben das Experiment am Puy de Dôme richtig beschrieben, 13 von 21 haben auch die Zielsetzung von Pascal, nämlich den Beweis, dass die Theorie des „horror vacui“ nicht haltbar ist, richtig dargestellt. 8 Schüler und Schülerinnen formulieren als Zielsetzung, dass Pascal beweisen wollte, dass der Luftdruck auf dem Berg kleiner ist als im Tal. Die Tatsache stimmt, aber sie war gewissermaßen das Zusatzergebnis des Experimentes am Puy de Dôme und nicht die primäre Zielsetzung von Pascal.

2. Einzelfragen:

Nr.1: Wurde 17 mal gewählt und von allen Schülern und Schülerinnen richtig beantwortet, teilweise viel ausführlicher, als ich erwartet hatte (Beschreibung von verschiedenen Situationen, in denen sich warme Luft abkühlen kann).

Nr.2: Diese Aufgabe wurde nicht gewählt. Einerseits wohl, weil zur Beantwortung konkrete Zahlenwerte (Luftdruck auf Meereshöhe, Reduktion des Luftdrucks auf die Hälfte bei 5,5 km) erwartet wurden, zudem schreckte wahrscheinlich auch die Formulierung „mathematischer Zusammenhang“ ab.

Nr.3: Wurde 21 mal gewählt (d.h. von allen!) und 20 mal vollständig richtig beantwortet, bei einer Antwort war der Versuch richtig beschrieben, aber die Begründung mit dem Luftdruck fehlte.

Nr. 4: Wurde 8 mal gewählt und von allen diesen Schülern und Schülerinnen richtig beantwortet.

Nr.5: Wurde 9 mal gewählt. 3 Antworten waren vollständig und gut beschrieben, bei den übrigen fehlte die Erklärung, wie wir überprüft hatten, dass die Flasche wirklich leergepumpt war (mit Öffnen des Hahns unter Wasser, so dass Wasser in die leere Flasche einströmt), bei 5 Schülern und Schülerinnen fehlte zudem ein korrekter Vergleich der Dichte von Luft mit andern Stoffen (z.B. Wasser). Alle 9 Schüler und Schülerinnen hatten das Experiment richtig beschrieben (zum Beispiel Claudia: „Zuerst haben wir eine Flasche auf die Waage gestellt, die voll Luft war. Wir haben das Gewicht notiert. Dann haben wir die Luft hinausgesaugt und die verschlossene Flasche wieder auf die Waage gestellt.“). Alle Schüler und Schülerinnen haben auch den richtigen Zahlenwert (1,3 Gramm pro Liter) angegeben.

Nr.6: Wurde 7 mal gewählt. 2 Antworten waren sehr gut, 3 mal war aus der Formulierung nicht eindeutig zu erkennen, ob der Begriff Druck wirklich verstanden war (zum Teil wurde der Begriff innerhalb einer Antwort einmal richtig verwendet und im folgenden Satz wieder nicht), bei 2 Schülerinnen war klar zu erkennen, dass sie den Begriff Druck mit Kraft verwechselten.

Notenbild (die beste Note ist die 6, unter Note 4 ist ungenügend):

6	XXXXXXXXX
5,5	XX
5	XXXXX
4,5	XXXX
4	X

Das Resultat scheint mir insgesamt sehr befriedigend (Durchschnitt 5,3). Sehr gut ist das Resultat im Sinne des Verstehens von Zusammenhängen, weniger gut im Sinne physikalischer Begriffe und Formeln (Aufgaben 2 und 6): Dass Aufgabe 2 nicht gewählt wurde, kann ich verstehen. Enttäuscht bin ich dagegen vom Resultat der Aufgabe 6, weil ich glaubte, dass der - nicht einfache - Begriff „Druck“ ausreichend diskutiert wurde. Im Zusammenhang mit Luftdruck ist es der zentrale physikalische Begriff dieser Unterrichtseinheit. Es zeigt sich, dass viele Fragen mit einer unpräzisen Vorstellung von Druck gut gelöst werden können, etwa die Magdeburger Halbkugeln: „... Da in der Kugeln kein Luftdruck mehr vorhanden war, war der Druck von aussen so gross, dass es nicht mehr möglich war, die Kugeln zu trennen.“ (Brigitte, die in Aufgabe 6 den Druck falsch handhabte) Das Resultat der Lernkontrolle widerspiegelt, dass in dieser Inszenierung das Schwergewicht auf dem Verstehen des Übergangs vom horror vacui zum Luftdruck und in der praktischen Anwendung des Luftdrucks (Demonstrationen der Wirkungen des Luftdrucks und Wetter) lag. Die Klasse bestand aus 18 Schülerinnen und 3 Schülern. Möglicherweise kam die Tatsache, dass es um das Beschreiben und Erklären ging und nicht um das Rechnen, den Mädchen entgegen?

Die beiden nachfolgenden Lösungen zur Aufgabe 1 zeigen, dass die Sorgfalt in den persönlich formulierten Hefteinträgen sich auch bei den Formulierungen in der Prüfung auswirkt:

Simon: „Pascals Barometer

Dieser Versuch wurde 1648 durchgeführt. Man hat ein Glasrohr mit Quecksilber gefüllt und dieses in eine Wanne gestellt. Nun hat man die erste Messung am Fusse des Puy de Dôme gemacht, die zweite Messung wurde auf dem Gipfel durchgeführt.



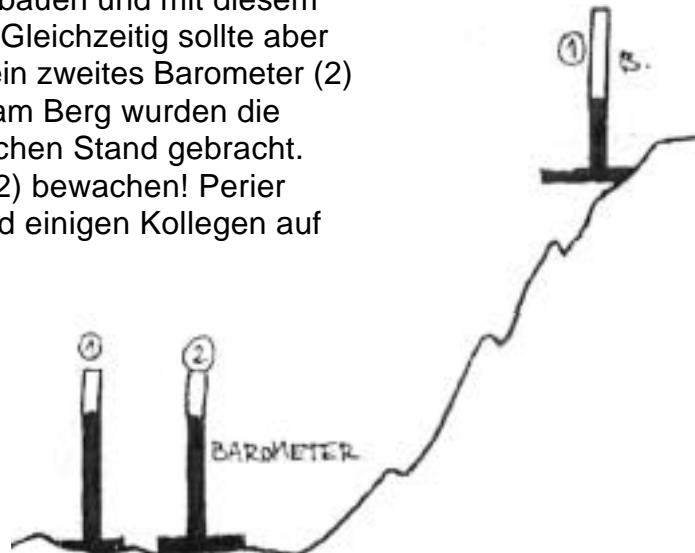
Man hat folgende Beobachtung gemacht: Die Höhe des Quecksilbers im Glas ist auf dem Gipfel weniger hoch als diejenige am Boden! Man war so unsicher über dieses Resultat, dass man noch 5 weitere Messungen am Gipfel durchgeführt hat. Und jedesmal war das Resultat gleich. Nun hat Pascal bewiesen, dass die alte Theorie, die Natur lasse kein Vakuum zu, nicht stimmt. Denn warum sollte das Bestreben der Natur, ein Vakuum zu verhindern, auf dem Puy de Dôme kleiner sein als am Fusse!!

Natürlich ist es der Luftdruck, der dort oben weniger hoch ist als am Fusse. Wir befinden uns ja am Grund eines Luftmeeres.“

Isabelle: „Pascals Experiment am Puy de Dôme

Pascal wollte den Versuch ausführen, um zu belegen, dass das grundlegende beim Barometer der Luftdruck war. Da er aber nicht in der Nähe eines Berges oder dergleichen wohnte, schrieb er seinem Freund Perier, der für ihn diesen Versuch ausführen sollte.

Perier sollte ein Barometer (1) bauen und mit diesem auf den Puy de Dôme steigen. Gleichzeitig sollte aber im Tal, sprich unten am Berg, ein zweites Barometer (2) stehen. Perier begann. Unten am Berg wurden die beiden Barometer auf den gleichen Stand gebracht. Ein Kollege wollte Barometer (2) bewachen! Perier stieg mit seinem Barometer und einigen Kollegen auf den Puy de Dôme. Je höher sie hinaufstiegen, desto mehr senkte sich das Quecksilber! Wieder unten fragten sie den Kollegen bei Barometer (2), ob sich das Barometer auch bei ihm gesenkt hatte. Er beteuerte, dass das nicht so gewesen sei!



So erlangten sie endgültig die Erkenntnis, dass das Steigen und Sinken des Quecksilbers nur vom Luftdruck abhing und nicht von einem Vakuum oberhalb des Quecksilbers. Es gibt aber ein Vakuum oberhalb des Quecksilbers! Er hat damit die Theorie, dass das Vakuum grundlegend sei und sich die Natur dagegen wehrt, zerschmettert und aufgezeigt, dass es einzig vom Luftdruck abhängt.“

2.3. Didaktische Interpretation des Lehrstücks „Pascals Barometer“

2.3.1. Wagenscheins Methode: Genetisch-sokratisch-exemplarisch - beim Barometer-Lehrstück

2.3.1.1. Genetisch

Genetisch kommt von Wachsen, Entstehen. Ein genetischer Lehrgang ist so angelegt, dass die Schüler und Schülerinnen das Entstehen des Wissens erleben. Er steht im Gegensatz zum systematischen Lehrgang, der zum Thema Luftdruck etwa folgendermassen aussehen könnte: Der Lehrer demonstriert den Luftdruck durch seine Wirkung: das Zerknittern einer Blechdose, wenn die Luft herausgepumpt wird, und die Magdeburger Halbkugeln. Er wird das Barometer erklären, aus der Höhe der Quecksilbersäule die Grösse des Luftdrucks berechnen, und er wird mit Formel und Diagramm zeigen, wie der Luftdruck mit der Höhe abnimmt.

Es sind dieselben Dinge wie beim genetischen Lehrgang von „Pascals Barometer“, nur werden sie im Lehrstück von den Schülern und Schülerinnen selber gefunden. Der Lehrer verlässt sich darauf, „dass uns die Betrachtung der Natur zum Denken auffordert“.⁸⁴ Wagenschein schreibt: „Das Entlang-Gejagtwerden längs den Geleisen des Systems (der Physik, U.A.) bildet nicht. Wir wollen Geleisleger erwecken, nicht Geleisefahrer machen.“⁸⁵ Ramseger wendet hier kritisch ein, dass Wagenschein durch die Wahl des Anfangsphänomens das Thema vorgibt, dass er den genetischen Lehrgang von seinem Ende her plant. Ich stimme dem zu. Wenn Ramseger aber schreibt: „Sind hier die Schüler nicht doch eher »Geleisefahrer«, auf festen Schienen vorwärts fahrend, die Wagenschein in Form von ... Experimenten anbietet, welche kaum andere als die ausgeführten Fragen und Überlegungen zulassen? Ist hier nicht doch eher Wagenschein der »Geleisleger«?“⁸⁶, dann würde ich dieses Bild zurechtrücken: Wagenschein gibt zwar die Richtung an, in der die Geleise gelegt werden sollen, aber die Geleise müssen von den Schülern und Schülerinnen selber gelegt werden. Dass es dann in der Natur Stellen gibt, an denen nur ein möglicher Weg durchführt, ist eine Charakteristik der Physik und keine künstliche Einengung durch Wagenscheins Methode. Wagenscheins Unterricht hat ein Ziel, und wenn sich ein Hindernis in den Weg stellt, muss dieses Hindernis überwunden werden, man kann nicht einfach sagen: Jetzt fahren wir halt in eine andere Richtung. Das Überwinden des Hindernisses ist wichtig für den Lernprozess, es gibt keine vorbereiteten Tunnels, um schneller vorwärts zu kommen.

Wir stehen beim Begriff „Genetisch“, und ich will drei Aspekte des Genetischen vertiefen:

I) Wagenschein betont immer wieder, wie wichtig es ist, insbesondere für Physiklehrer, die originären Forscher in ihren Quellen zu lesen.⁸⁷ In solchen Texten können wir sehen, wie das Wissen entstanden ist.

Das Lehrstück „Pascals Barometer“ lässt die originären Forscher an mehreren Stellen zu Wort kommen: Pascal und v.Guericke werden zitiert, und den Brief, in

⁸⁴ Johann Wolfgang Goethe, zitiert nach M.Wagenschein: Verstehen lehren; S.80

⁸⁵ Martin Wagenschein: Naturphänomene sehen und verstehen; S.183

⁸⁶ Jürg Ramseger: Was heisst „durch Unterricht erziehen“?; S.178

⁸⁷ Martin Wagenschein: Einladung, Galilei zu lesen: In: M.Wagenschein: Naturphänomene sehen und verstehen; S.52 ff. Zur Bedeutung der Quellenlektüre siehe auch Martin Wagenschein: Die Pädagogische Dimension der Physik; S.116/117

dem Pascals Schwager von der Expedition auf den Puy de Dôme berichtet, habe ich den Schülern und Schülerinnen vorgelesen.

II) Einwurzelung: Wagenschein verwendet dieses Wort in Anlehnung an Simone Weil.⁸⁸ Er meint damit, dass die physikalische Erkenntnis einwurzeln muss in unsere Umwelterfahrungen.

Ich gebe für Pascals Barometer drei Antworten:

- Wir arbeiten mit Gegenständen aus dem Alltag, mit denen wir verbunden sind. Es geht um die Luft, in der wir leben, wir experimentieren mit Wasser, das uns vertraut ist.

- Wenn ich das Bierglas aus dem Wasser ziehe, denke ich nicht: aha, klar, sondern ich staune jedesmal wieder. Aber es ist kein überraschtes Staunen wie beim ersten Mal, sondern ein verstehendes Staunen, vielleicht mehr ein Bewundern, dass es die von uns kaum wahrnehmbare Luft schafft, dem schweren Wasser entgegenzuhalten. Die physikalische Betrachtung des Bierglases ersetzt also nicht die gesamtheitliche Sicht, sondern sie ergänzt und bereichert sie, keine Spaltung⁸⁹, sondern ein Einwurzeln der physikalischen Sichtweise.

- Wir leben auf dem Boden eines Luftmeeres: Dieser Gedanke, diese neue Sichtweise soll so verwurzelt werden, dass wir das auch fühlen, wenn wir die Wolken betrachten. Das braucht Zeit und vielfache Möglichkeiten, diese Sichtweise immer wieder zu vertiefen: die Expedition auf den Puy de Dôme, die Magdeburger Halbkugeln, das Thematisieren des Umdenkens von Galilei zu Pascal, die Betrachtungen zum Wetter.

III) Wenn genetisch mit „werden“ übersetzt wird, dann geht es auch um das „Werden“ des Menschen. Was trägt die Physik, oder im konkreten Fall hier Pascals Barometer, zur Entwicklung des jungen Menschen bei? Welche Lebenskräfte werden geweckt? Der Begriff „Lebenskräfte“ ist unscharf. Es geht um eine philosophische Dimension. Wagenschein schreibt: „Kein von seinem Fach benommener Lehrer, kein philosophisch nicht angerührter Lehrer ist imstande, Physik allgemeinbildend zu unterrichten“⁹⁰.

Bei Pascals Barometer geht es um die Auseinandersetzung mit „leerem Raum“. Das metaphysische Unbehagen vor dem leeren Raum muss sich auseinandersetzen mit der Beobachtung, dass im Plastikschauch ein leerer Raum⁹¹ entsteht. Wenn ich frage: „Was ist ein Vakuum?“, so wissen fast alle Schüler und Schülerinnen: „Ein leerer Raum“. Wenn ich dann aber frage: „Gibt es so etwas?“, dann setzt das Nachdenken ein. Ich meine, dass die Vorstellung des leeren Raums durch das Lehrstück „Pascals Barometer“ eine andere Qualität gewinnen kann. Mit Lebenskraft meine ich hier: Ich lerne am Beispiel des leeren Raums, wie ein schwer vorstellbarer, an Gefühle gebundener Begriff sich entwickelt (nicht: sich klärt, das wäre überheblich), wenn ich mich mit ihm aus der Sicht der Physik beschäftige.

⁸⁸ Martin Wagenschein: Verstehen lehren; S.78/79. Siehe dazu auch Peter Buck: Einwurzelung und Verdichtung.

⁸⁹ „Was spaltet, hat mit Bildung nichts zu tun.“ Martin Wagenschein: Verstehen lehren; S.65. Gemeint ist die Spaltung zwischen naturwissenschaftlichem Wissen und Alltagserfahrung.

⁹⁰ Martin Wagenschein: Verstehen lehren; S.40

⁹¹ Man müsste sagen „ein luftleerer Raum“, denn über der Wassersäule hat es Wasserdampf. Auch ein materiefreier Raum - in der Natur nie realisierbar, denn auch im leeren Weltraum zwischen den Galaxien hat es in jedem Kubikzentimeter einige Atome - wäre für den Physiker nicht leer, denn es gibt in ihm Felder und Energie. Siehe dazu: Henning Genz: Die Entdeckung des Nichts.

Insgesamt zum Genetischen:

Das Ziel eines genetischen Unterrichts ist, eine Sache wirklich zu verstehen. Wagenschein schreibt dazu: „Ein naturwissenschaftliches Ergebnis kann nicht verstanden werden ohne Kenntnis auch des Weges, der zu ihm führte.“⁹² Ein naturwissenschaftliches Ergebnis hat eine andere Qualität, wenn man sieht, woher es kommt, als wenn es nur mitgeteilt wird.⁹³

Willmann verwendet als Bild für die genetische Methode in der Mathematik das Entsprissen einer Pflanze aus einem Samenkorn⁹⁴. Ich denke, dass dieses Bild gut auf das Lehrstück passt: In Pascals Barometer entspricht das Bierglas dem Samenkorn, aus dem die Erkenntnisse über den Luftdruck und seine Wirkung auf das Wetter in einem langen Prozess entsprissen; ich meine: „Pascals Barometer“ ist ein genetischer Lehrgang.

2.3.1.2. Sokratisch:

Wagenschein: „Das wirkliche Verstehen bringt uns erst das Gespräch. Ausgehend und angeregt von etwas Rätselhaftem, auf der Suche nach dem Grund.“⁹⁵ Was Wagenschein hier für den Unterricht formuliert, gilt auch für das Verstehen in der Wissenschaft. Werner Heisenberg schreibt: „Naturwissenschaft beruht auf Experimenten, sie gelangt zu ihren Ergebnissen durch die Gespräche der in ihr Tätigen, die miteinander über die Deutung der Experimente beraten. ... Wissenschaft entsteht im Gespräch“⁹⁶ Und auch die Entwicklung der Lehrkunst-Didaktik wurde geprägt durch Gespräche: Diskussionen an Tagungen, an Fortbildungsveranstaltungen und in Seminaren und vielen langen und intensiven privaten Gesprächen der Beteiligten.

Die Bezeichnung „sokratisches Gespräch“ führt oft zu Missverständnissen. Es geht bei Wagenschein um die Intention von Sokrates, nicht um die konkrete Realisierung, die wir in den von Plato aufgezeichneten Dialogen finden, wo Sokrates „an den entscheidenden Stellen Monologe hält und der Schüler fast nur ein Jasager ist.“⁹⁷ Es geht um das Ziel, „Menschen in Form von Gesprächen zum Selberdenken, zum selbständigen Finden von Erkenntnissen zu verhelfen.“^{98,99}

Nicht jedes Thema eignet sich für die Erarbeitung im sokratischen Gespräch. Welche Voraussetzungen braucht es, um sokratisch arbeiten zu können? Dazu zwei Zitate von Martin Wagenschein:

⁹² Martin Wagenschein: Die Pädagogische Dimension der Physik; S.99.

John Dewey formulierte 1915. „Der Grundgedanke [der genetischen Methode, U.A.] ist eben dieser: der Weg zum Verständnis eines verwickelten Problems führt durch das Studium seines Werdeganges.“ (Demokratie und Erziehung, S.283)

⁹³ Horst Rumpf: „Es gibt einen Griff nach Kulturinhalten, nach Erkenntnissen, der es sich leicht macht. Er sucht sie sich anzueignen im direkten Zugriff - unter Einsparung von Zeit, Kraft, Nerven, Gefühlen. Er schmückt sich mit fremden Federn, spricht mit zugespitzten Theorien und Formeln, ohne auch nur noch eine Ahnung zu bekommen von den Mühsamkeiten des Weges dahin. Er mag Ergebnisse lernen, aber diese Mühe ist qualitativ unterschieden von der Mühe der Suche im Offenen.“ (H.Rumpf: Kostbares Befremden - über die anfängliche Nachdenklichkeit bei Wagenschein; S.26/27)

⁹⁴ Otto Willmann: Die genetische Methode; In: sämtliche Werke, Band 7; S.566-574

⁹⁵ Martin Wagenschein: Die Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft; S.74

⁹⁶ Werner Heisenberg: Der Teil und das Ganze; S.7

⁹⁷ Leonard Nelson: Die sokratische Methode; In: Buck / Berg: Kristallisationskeime; S.37

⁹⁸ Wolfgang Klafki: Exempel hochqualifizierter Unterrichtskultur; S.29

⁹⁹ Um die erwähnten Missverständnisse zu vermeiden, schlägt Rainer Loska vor, die von L.Nelson und M.Wagenschein (der sich auf Nelson bezieht) gemeinte Gesprächsform als „neosokratisches Gespräch“ zu bezeichnen, vgl. R.Loska: Lehren ohne Belehrung; S.148

1. „Es muss also ein Phänomen das sein, das die Eigenschaft hat, dass man darüber stolpert, beim Aufnehmen. Man wundert sich, es ist rätselhaft, eine Sache, die im höchsten Mass erstaunlich ist. ... Kann man das verstehen oder nicht? Das ist doch rätselhaft! Das Thema muss so sein, dass die sachliche Motivation gesichert ist, d.h. es ist nicht nötig, dass ich sage: jetzt passt mal schön auf, oder: das müsst ihr später haben für das sogenannte Leben, oder: das steht im Lehrplan, muss gemacht werden, sondern: seht euch das an, und dann sagt, was ihr meint, und dann geht es los.“¹⁰⁰

Bei uns ist das Bierglas das rätselhafte Anfangsphänomen. Man wundert sich, warum das Wasser nicht hinausfließt. Man ist irritiert, dass dieses einfache Alltags“experiment“ der Erfahrung, dass Wasser ausfließt, widerspricht.



Der Versuch mit dem Bierglas im Seminar in Marburg (1997). Alle Blicke sind gespannt auf das Phänomen gerichtet. Links im Bild Wolfgang Klafki, in der Mitte Christoph Berg.

2. „Man sitzt im Kreis, entschlossen, ein natürliches Problem aus eigener Kraft vollständig zu klären; gemeinsam, miteinander. ... Jeder wird ernst genommen, was er auch sagt, in seiner eigenständigen Sprache, mit dem einzigen Ziel, den andern verständlich zu sein. Natürlich spricht ein Nachdenklicher oft unsicher, stotternd, ahnend. Keine Korrektur! Es gibt keine Meldungen, kein Aufrufen, kein Abfragen, keine Belehrungen, keine Vorträge, keine längeren Zwiegespräche. Der ständige Hundeblick auf den Lehrer verliert sich bald.¹⁰¹ Kein Widerspruch wird übergangen, keine Frage überhört. Man geht erst weiter, wenn es soweit ist.“¹⁰²

Die Bergführer-Metapher

Für viele Aspekte des genetisch-sokratischen Unterrichts hat sich das Bild des Lehrers als Bergführer bewährt. Ganz zentral ist: Es geht hier um einen Bergführer, der seiner Gruppe das Bergsteigen beibringen will, es geht also nicht einfach darum, möglichst schnell den Gipfel zu erreichen. Natürlich soll der Gipfel erreicht werden, aber das ist nicht das einzige Ziel.¹⁰³ Wagenschein verwendet das Bild des

¹⁰⁰ Martin Wagenschein: Über das genetisch-exemplarische Lehren; Video-Aufzeichnung

¹⁰¹ vgl. dazu Martin Wagenschein: Die Stufen zur Freiheit des Gesprächs; In M. Wagenschein: Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken, Band I, S.131

¹⁰² Martin Wagenschein: Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft, S.80

¹⁰³ Dazu Hans Christoph Berg: „Natürlich ist das Ziel nichts ohne den Weg, aber der Weg ist nicht schon das Ziel, sondern erst Weg und Ziel zusammen sind Bildung“ (Genetische Methode; S.357)

Bergführers auch: „Er kennt das Gelände, er ahnt die Pfade, er sorgt, dass es gelingt. Er hilft und lenkt, aber er tut es so wenig wie möglich. Denn nicht darauf kommt es ihm an, den Gipfel möglichst schnell zu nehmen, sondern er will die Suchenden findig machen, dass sie bald auch ohne ihn Berge besteigen lernen.“¹⁰⁴

Ich versuche im Folgenden einige Interpretationen dieses Bildes:

1.) Damit die Gruppe das Bergsteigen lernt, bedarf es der Zurückhaltung des Bergführers. Im Unterricht heisst das: Der Lehrer hat nicht die Aufgabe zu erklären, seine Aufgabe ist es nur, behutsam das Gespräch zu leiten. Die Schüler und Schülerinnen müssen Gelegenheit haben, die Fragen selber zu klären. Auch aus Wegen, die nicht zum Ziel führen, kann man lernen. Wenn ich einem Schüler oder einer Schülerin zuhöre, dann geht es deshalb nicht darum: Stimmt das, was er oder sie sagt, oder stimmt es nicht. Es geht zuerst einmal darum, dass alle verstehen, was er oder sie meint. Und dann müssen wir miteinander überlegen, ob uns diese Idee weiterhilft. Für Schüler und Schülerinnen ist es sehr befreiend, sich frei äussern zu können, zu wissen, dass auch Falsches ernst genommen wird.

2.) Der Bergführer muss ein gutes Gefühl entwickeln, wann die Gruppe wirklich Hilfe braucht. Wenn er die Lernenden zu lange hängen lässt, kann es sein, dass ihnen das Bergsteigen verleidet und sie in die Berghütte zurückkehren. Es ist dann sehr schwierig, die Gruppe zum Weitergehen zu motivieren. Deshalb muss rechtzeitig, aber eben auch nicht zu früh, eine möglichst kleine Hilfe gegeben werden¹⁰⁵.

3.) Nicht alle Lernenden lernen gleich gut. Der Bergführer muss deshalb merken, wer mehr Hilfe braucht, vielleicht muss er Einzelne auch bei kritischen Stellen ans Seil nehmen und hochziehen. Er muss jedenfalls dafür sorgen, dass niemand abgehängt wird und dass andererseits schnelle Kletterer auch nicht ständig am Weiterklettern gehindert werden. Diese kontroversen Ansprüche zu erfüllen ist die schwierige Herausforderung an den Lehrer, der seinen Schülern und Schülerinnen Lernprozesse ermöglichen und nicht nur Informationen vermitteln will. Im sokratischen Gespräch werden einige Schüler und Schülerinnen immer wieder diejenigen sein, die vorausklettern, indem sie neue Ideen haben. Die Rolle der Langsameren ist, die Schnelleren mit Fragen wie: „Kannst Du das noch genauer erklären, denn ich habe dich noch nicht verstanden“ herauszufordern.

4.) Wenn ein Bergführer seiner Gruppe das Bergsteigen beibringen will, muss er einen geeigneten Berg suchen: nicht zu schwierig, damit er aus eigener Kraft bezwungen werden kann, aber auch nicht zu leicht, so dass er eine Herausforderung darstellt. Und dann sollen an diesem Berg Kenntnisse erworben werden, die sich an andern Bergen wieder verwenden lassen.

5.) Je besser der Lehrer den Berg kennt, umso freier kann er die Gruppe selber klettern lassen. Er weiss, wo es gefährlich wird - im Unterricht heisst das: Man verfolgt eine Idee, die gar nicht zum Thema passt und die deshalb zu ganz falschen

und Heide Oehlerking-Bähre: „Nicht das absolut gesetzte Ziel allein und auch nicht der subjektiv gesuchte Weg allein sind für Wagenschein entscheidend, sondern die dialektische Verschränkung beider im Sinne einer kategorialen Bildung, wie sie bei Klafki konzipiert ist, kennzeichnet seine Position.“ (S.150)

¹⁰⁴ Martin Wagenschein: Natur physikalisch gesehen; S.11.

¹⁰⁵ Im Sinne von Maria Montessori könnte man hier sagen: „Hilf mir, damit ich selber weiterklettern kann.“

Folgerungen führen kann - und wird die Gruppe dort zurückhalten. Er weiss auch immer, wie man von der momentanen Situation aus weiterkommt: ob man ein Stück zurücksteigen muss, oder ob man mit einem Richtungswechsel wieder vorwärtskommt. Und er weiss auch, wo man Zwischenhalte machen muss. Solche Zwischenhalte, bei denen man zurückblickt, sind ganz wichtig. Sokratische Gespräche sind für die Lernenden oft wie ein Vorwärtsarbeiten im Dschungel. Man verliert gern die Übersicht, kann Wesentliches von Unwesentlichem, ja oft sogar Falsches nicht mehr von Richtigem trennen. Und dann ist es ganz wichtig, wenn man ein Ergebnis erreicht hat, zurückzuschauen, was die entscheidenden Schritte waren, die zum Ziel führten.

Der strukturierte Verlauf einer Stunde, zum Beispiel: problemlösendes Aufbauen, Durcharbeiten, Üben, Anwenden (nach Aebli¹⁰⁶), ist im sokratischen Gespräch nicht möglich. Wagenschein: „Es hat ... viel für sich, wenn der Unterricht nicht »das Ziel der Stunde« erreicht, sondern die Lernenden in zweifelnder Unruhe entlässt - vorausgesetzt: dass es gelang, diese Unruhe ernstlich in Gang zu bringen.“¹⁰⁷ Und Rumpf: „Im Unterricht muss man eine Sache vor sich bringen, nicht hinter sich.“ Dieses ernsthafte Sich-Einlassen braucht Geduld, braucht Zeit. Max Feigenwinter hat treffend geschrieben: „Geduld haben heisst, der Sache so viel Zeit lassen als sie braucht.“¹⁰⁸

Wolfgang Klafki unterscheidet vier Phasen des sokratischen Lehrens¹⁰⁹, die ich am Beispiel des Lehrstücks „Pascals Barometer“ referieren will:

1. Am Anfang steht die Begegnung mit dem Gegenstand. Sie soll zum Nachdenken, zum Sich-Einlassen führen. Beim Barometer ist es die Frage: „Warum fliesst das Wasser nicht aus dem Glas?“, die das Nachdenken auslösen soll. Sowohl in den drei bisherigen Inszenierungen als auch bei andern Gelegenheiten - z.B. im Seminar in Marburg - hat sich die Erwartung an diesen Anfang immer erfüllt. Jedesmal hat das rätselhafte Bierglas ein intensives Gespräch ausgelöst.
2. In der zweiten Phase sollen die Schüler und Schülerinnen Fragen präzisieren und Hypothesen zu ihrer Beantwortung aufstellen. Beim Barometer-Lehrstück besteht diese Phase in der Erarbeitung der beiden Erklärungsversuche „horror vacui“ und „Luftdruck“. Es geht darum, diese beiden Ansätze so zu formulieren, dass alle Schüler und Schülerinnen verstehen, was gemeint ist.
3. Die dritte Phase führt Schritt für Schritt zur Lösung des Problems. Beim Barometer: Wie kann man eine Entscheidung zwischen den beiden Hypothesen „horror vacui“ und „Luftdruck“ herbeiführen? Das Experimentieren mit verschiedenen Gefässen führt schliesslich zum langen Schlauch, der die Vakuum-Theorie ins Wanken bringt. Vollends zum Einstürzen gebracht wird sie schliesslich durch Pascals Idee, den Puy de Dôme mit einem Quecksilber-Barometer zu besteigen.
4. In der vierten Phase geht es darum, die Ergebnisse festzuhalten. Im Lehrstück besteht diese Phase erstens aus den Zwischenhalten, bei denen die jeweils erreichten Ergebnisse in den Heften formuliert werden, und zweitens im Blick auf das Lehrstück als Ganzes: Vom rätselhaften Bierglas zum Barometer, vom Gewicht der Luft zum Luftdruck, von Pascal (Puy de Dôme) bis v.Guericke (Magdeburger Halbkugeln), vom Luftdruck zum Wetter. Dieses Herauskrystallisieren der

¹⁰⁶ Hans Aebli: Zwölf Grundformen des Lehrens; S.277 ff

¹⁰⁷ Martin Wagenschein: Die Pädagogische Dimension der Physik; S.120

¹⁰⁸ Max Feigenwinter: Erziehen: wachsen und wachsen lassen; S.55

¹⁰⁹ Wolfgang Klafki: Exempel hochqualifizierter Unterrichtskultur; S.30-32

entscheidenden Schritte scheint mir für den langfristigen Lernerfolg, für das Sichern der Ergebnisse besonders wichtig.

2.3.1.3. Exemplarisch

Im Zusammenhang mit der oben erwähnten Metapher des Bergführers schreibt Wagenschein: „Er braucht nicht alle Berge zu besuchen, es genügt ihm dieser und jener. Der Berg muss nur so gewählt werden, dass man an ihm das Steigen lernt und dass er den Verlauf der ganzen Gebirgskette überschauen und verstehen lehrt.“¹¹⁰

Steigen lernen heisst hier:

Grundlegende Einsichten über Physik gewinnen. Martin Wagenschein hat dazu Funktionsziele des physikalischen Unterrichts formuliert¹¹¹, die ich nun auf das Barometer-Lehrstück beziehen will:

1.Funktionsziel: Erfahren, was in der exakten Naturwissenschaft heisst: verstehen, erklären, die Ursache finden.

Verstehen beginnt mit dem Staunen über ein unerwartetes Verhalten. Dieses Staunen weckt das Bedürfnis zu verstehen, was letztlich nichts anderes heisst als: das Neue, Ungewöhnliche mit etwas in Verbindung bringen, das wir kennen. In Wagenscheins Worten: „Verstehen heisst: ein anderes Vertrauterer finden, das »mit ihm ihm zusammenhängt«, ihm »zugrundeliegt«. Man kann sagen: Verstehen heisst: einen Fremden bei näherer Betrachtung als einen nur verkleideten alten Bekannten wiedererkennen.“¹¹²

Beim Barometer heisst das: Der rätselhafte Bierglas-Versuch wird zurückgeführt auf die von der Luft auf die Wasseroberfläche ausgeübte Kraft. In dieser Kraft wiederum finden wir die Schwerkraft der Erde, welche bewirkt, dass die Luft ein Gewicht hat, das auf der Wasseroberfläche im Becken lastet.

2.Funktionsziel: Erfahren, wie man ein messendes Experiment ausdenkt, ausführt, auswertet, und wie man aus dem Experiment die mathematische Funktion gewinnt.

Das Ausdenken von Experimenten, das Messen und Auswerten der Messergebnisse ist die zentrale Methode der physikalischen Naturerforschung. Dahinter steckt die Prämisse, dass sich die Natur mit mathematisch einfachen Gesetzen beschreiben lässt. Heisenberg schrieb: „... dass die Mathematik in irgendeiner Weise auf die Gebilde unserer Erfahrung passt, empfand ich als ausserordentlich merkwürdig und aufregend.“¹¹³

Beim Barometer lässt sich dieses Funktionsziel an der Barometerformel zeigen: Die historische Besteigung des Puy de Dôme mit einem Barometer bestätigte Pascals Vermutung, dass der Luftdruck mit der Höhe abnimmt. Die Messung zeigt, dass die Abnahme nicht linear ist, sondern dass der Luftdruck pro 5,5 km jeweils auf den halben Wert absinkt. Dieses Verhalten lässt sich durch die Exponentialfunktion beschreiben. Aus dem messenden Experiment hat man also die mathematische Funktion erhalten.

¹¹⁰ Martin Wagenschein: Natur physikalisch gesehen; S.11

¹¹¹ Martin Wagenschein: Das exemplarische Lehren als ein Weg zur Erneuerung des Unterrichts an den Gymnasien; In M.Wagenschein: Naturphänomene sehen und verstehen; S.183 ff

¹¹² Martin Wagenschein: Naturphänomene sehen und verstehen; S.141:

¹¹³ zitiert nach Martin Wagenschein: Die Pädagogische Dimension der Physik; S.288

3.Funktionsziel: Erfahren, wie ein ganzes Teilgebiet der Physik sich mit einem anderen in Beziehung setzen und gleichsam darin auflösen lässt.

Wagenschein erwähnt als klassisches Beispiel die Optik. Die Beschreibung von Licht als elektromagnetischer Welle ermöglicht es, die Optik als Teilgebiet des Elektromagnetismus zu verstehen. Hinter dem 3.Funktionsziel steckt das Bestreben der Physiker, die Vielfalt der Gesetze auf einige wenige, weit tragende Grundgesetze zurückzuführen.

Der Luftdruck kann, wie ich beim 1.Funktionsziel erwähnt habe, auf die Schwerkraft zurückgeführt werden und ist damit gewissermassen ein Teilgebiet der Mechanik. Auf eine solche Betrachtungsweise habe ich im Unterricht aber ganz bewusst verzichtet. Im Sinne der Lehrstückdramaturgie soll das Lehrstück Barometer als selbständige und in sich geschlossene Einheit gesehen werden. Wagenscheins Funktionsziel widerspricht meines Erachtens der Zielsetzung von Lehrstücken.

4.Funktionsziel: Erfahren, was in der Physik ein „Modell“ ist.

Ein klassisches Beispiel dazu ist die Vorstellung des Elektrons, das uns in der Elektrizitätslehre und in der Atomphysik auf Schritt und Tritt begegnet. Wir können seine Masse und seine Ladung bestimmen, aber sehen können wir es nicht, es bleibt ein Bild, das wir in unserem Denken machen, ein Modell.

Im Barometer-Lehrstück habe ich dazu kein gutes Beispiel gefunden. Wir bleiben immer nahe bei den greifbaren Phänomenen, wir brauchen zur Erklärung des Luftdrucks die Vorstellung der Luftmoleküle nicht.

5.Funktionsziel: Erfahren, wie schliesslich - aufbauend auf allem Vorausgegangenen - der physikalische Forschungsweg selber zum Gegenstand der Betrachtung wird, einer wissenschaftstheoretischen Betrachtung.

Es geht um den Aspektcharakter, um die Grenzen der Physik. Wir sind damit bei einem zentralen Anliegen Wagenscheins: Physik beschreibt nicht die Natur an sich, sondern nur denjenigen Aspekt der Natur, der sich aus der physikalischen Betrachtungsweise ergibt, nämlich der messbaren, letztlich in Zahlen ausdrückbaren, wiederholbaren und objektiven Eigenschaften.

Wagenschein macht es am Thema Schall deutlich: „In der Physik hat man sich entschlossen, sich allein um das Mechanische, die Luftdruckkurve, zu kümmern. Die »physikalische Akustik« enthält dann also in der Tat das, was vom Schall, von Musik bleibt für einen, der taub ist. Der Lehrer muss dann freilich auch bewusst machen, woher dieser Entschluss kommt: An der Luftdruckkurve kann man messen; an dem, was wir unmittelbar hören, nicht.“¹¹⁴

Wird der Aspektcharakter am Barometer deutlich? Ja, denn von der Luft bleibt nur der Druck. Es fehlen das Spüren des Windes, das Riechen von Luft, die chemische Zusammensetzung von Luft usw.. Über den Druck allerdings lässt sich Genaueres sagen: Wir wissen, wie wir ihn messen können, wie gross er auf Meereshöhe ist und wie er mit der Höhe abnimmt.

6.Funktionsziel: An einigen Begriffsbildungen erfahren, wie die physikalische Art, die Natur zu lichten, geistesgeschichtlich geworden ist.

Physik ist die Beschreibung der Natur durch den Menschen. Sie ist nicht einfach da, sondern sie ist durch den Menschen geschaffen. Carl Friedrich von Weizsäcker schreibt dazu: " .. der Mensch war nötig, damit es Begriffe von der Natur geben konnte. Es ist möglich und notwendig, die Naturwissenschaften als einen Teil des

¹¹⁴ Martin Wagenschein: Rettet die Phänomene; In: M.Wagenschein: Erinnerungen für morgen; S.138

menschlichen Geisteslebens zu verstehen."¹¹⁵ Wagenschein fordert deshalb, "dass das Denken der Lernenden dahin geleitet wird, diese Begriffe selbst zu konstruieren. Er wird dann dieselben Stufen durchsteigen, die wir in die Geistesgeschichte eingegraben finden."¹¹⁶

Dieses Funktionsziel ist ein Grundanliegen der Lehrkunst. Indem ich die Arbeit der originären Forscher (Pascal, von Guericke) ausführlich darstelle und sie mit Zitaten auch zu Wort kommen lasse, löse ich Wagenscheins Forderung ein. Ich werde unter dem Stichwort „kollektives Lernereignis“ noch näher darauf eingehen.

7.Funktionsziel: Erfahren, wie sich das technische (das erfindende) Denken von dem entdeckenden Denken unterscheidet.

Wagenschein beschreibt den Unterschied zwischen dem Entdecken und dem Erfinden so: Entdecken heisst: Ich belausche ein neues wildes Tier, bis ich es kenne. Ich frage: "Wer bist Du?" Erfinden heisst: Ich kenne nun das Tier und kann versuchen, es zu dressieren. Ich frage: "Willst Du wohl?"¹¹⁷

Auf das Barometer-Lehrstück übertragen heisst das: Mit dem Bierglas und dem langen Schlauch entdecke ich den Luftdruck. Ich weiss nun, dass es ihn gibt, und nun erfinde ich, dass ich den Schlauch als Barometer verwenden kann.

8.Funktionsziel: Erfahren, wie ohne verfrühte Mathematisierung und ohne Modellvorstellungen ein phänomenologischer (und "qualitativer") Zusammenhang herzustellen ist, der das ganze Grundgefüge der Physik gliedert und zusammenhält.

Das gesamte Lehrstück erfüllt dieses Funktionsziel: Vom Bierglas können wir ohne Modelle und Formeln, nur durch das Verstehen der Phänomene, zum Wetter kommen. Formeln benötigen wir nur zu quantitativen Ergänzungen: Wenn wir ausrechnen wollen, wie hoch die Wassersäule oder die Quecksilbersäule sind, oder wie stark v.Guerickes Halbkugeln zusammengepresst werden.

Insgesamt: Wagenscheins Funktionsziele beschreiben den Bildungsgehalt des Physikunterrichts. Bildung lässt sich nicht durch einen Kanon von Inhalten definieren¹¹⁸. Wenn wir von Bildung sprechen, dann geht es, im Sinne der kategorialen Bildung (Klafki), um grundlegende Einsichten und Erfahrungen. Diese können nun aber nur an konkreten Inhalten gemacht werden. Ich wende mich damit dem zweiten Teil des Wagenschein-Zitats von Seite 51 zu:

Exemplarisch heisst zweitens: Den Verlauf der Gebirgskette überschauen:

Warum ist der Luftdruck im Rahmen der Physik wichtig? Welche anderen Themen sind mit dem Luftdruck verbunden oder können aus dem Luftdruck erschlossen werden? Die thematische Landkarte zeigt, welche Themen im Lehrstück direkt angesprochen werden (unterstrichen) und welche anderen Themen sich anschliessen könnten:

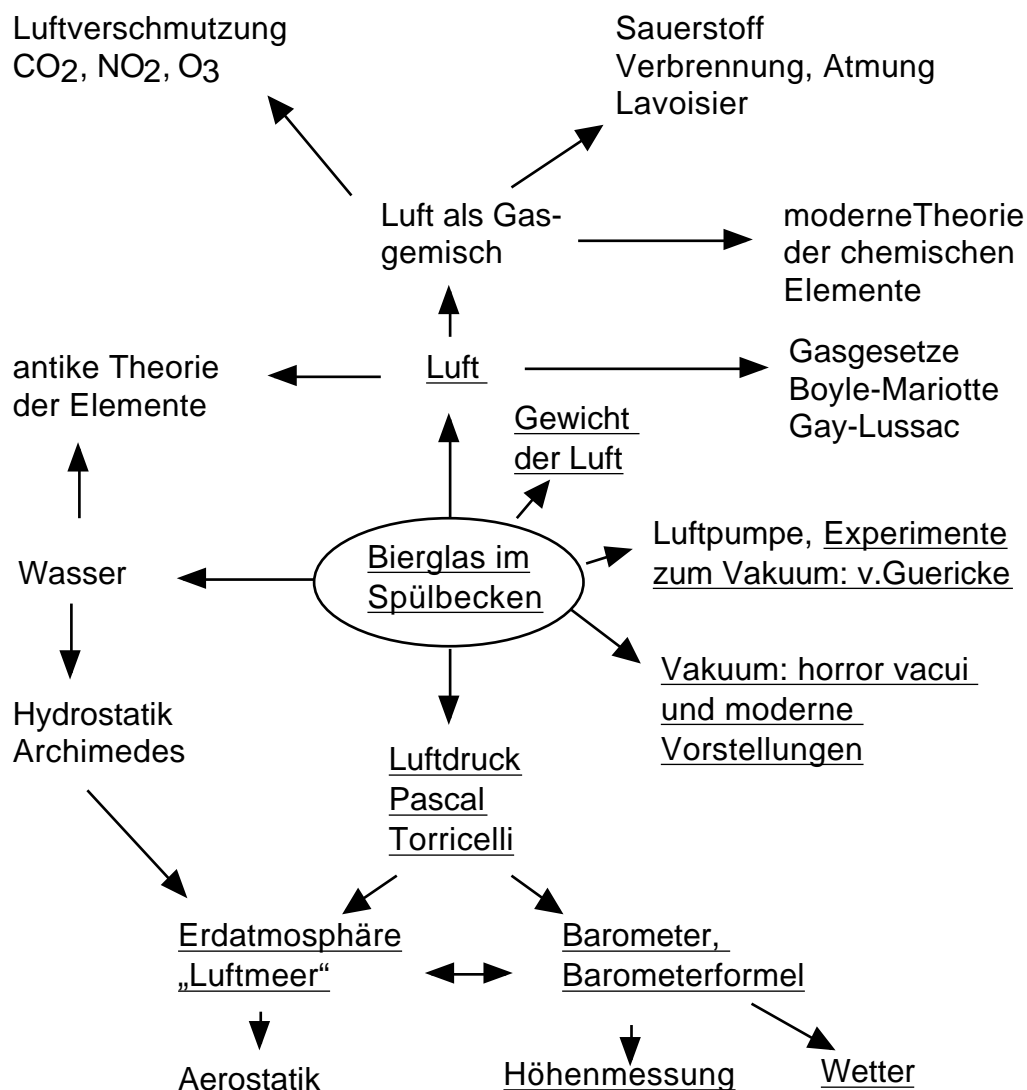
¹¹⁵ zitiert nach Martin Wagenschein: Naturphänomene sehen und verstehen; S.188

¹¹⁶ Martin Wagenschein: Naturphänomene sehen und verstehen; S.189

¹¹⁷ siehe Martin Wagenschein: Naturphänomene sehen und verstehen; S.191

¹¹⁸ „Ein unserer geschichtlichen Situation angemessenes Bildungsverständnis kann nicht als Festlegung auf inhaltlich konkret fixierte Detailziele ... verstanden werden“ Wolfgang Klafki: Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik; S.138

„Für die Bestimmung von Bildung [ist] ... die Kanonisierung von Bildungsgütern ... untauglich.“ Hartmut von Hentig; Bildung; S.15



Insgesamt zum Exemplarischen:

Exemplarisch lehren heisst, dass an ausgewählten Beispielen grundlegende, allgemeine Einsichten und Fähigkeiten gewonnen werden. Wolfgang Klafki hat den Begriff „kategorial“ eingeführt. Er schreibt: „Kategoriale Bildung meint das Sichtbarwerden von allgemeinen, kategorial erhellenden Inhalten auf der objektiven Seite und das Aufgehen allgemeiner Einsichten, Erlebnisse, Erfahrungen auf der Seite des Subjekts.“¹¹⁹ Martin Wagenschein schreibt über das Exemplarische: „Das Einzelne, in das man sich hier versenkt, ist nicht Stufe, es ist Spiegel des Ganzen.“¹²⁰ Unser Einzelnes ist der Luftdruck. Das Barometer-Lehrstück ist keine Stufe, die man überwinden muss, um im Physikunterricht weiterzusteigen. Aber der Luftdruck spiegelt vieles aus dem Ganzen, er ermöglicht allgemeine Einsichten, die an anderer Stelle wieder verwendet werden können. Und zwar sowohl fachliche Einsichten, wie die thematische Landkarte zeigt, als auch Einsichten in die Arbeitsweise der Physik, was ich in den vorangehenden Punkten aufzuzeigen versuchte.

¹¹⁹ geschrieben 1959, zitiert aus Wolfgang Klafki: Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik; S.144

¹²⁰ Martin Wagenschein: Verstehen lehren; S.32



Die Kristalle - abgebildet auf dem Umschlag des Buches „Naturphänomene sehen und verstehen“¹²¹ - verdeutlichen, was Wagenschein mit dem Exemplarischen meint: Es braucht einen Kristallisationspunkt, von dem aus der Kristall langsam wächst¹²², immer verbunden mit der Mitte. In unserem Fall ist das rätselhafte Verhalten des Wassers im Bierglas der Kristallisationspunkt, um den herum nun neue Erkenntnisse entstehen. Und das Neue wird nicht einfach mitgeteilt, als Information, als unverstandenes Fragment, sondern es wird sorgfältig mit den schon erarbeiteten Erkenntnissen verbunden. Vom langen Schlauch, vom Luftdruck auf dem Puy de Dôme, von den Magdeburger Halbkugeln müssen die Schüler und Schülerinnen immer wieder den Weg zurück zum Bierglas finden können. Wenn nur das Ergebnis auswendig gelernt wird, statt dass der Weg zu ihm vertraut gemacht wird durch Hin- und Zurückfinden, dann ist die Sache nicht richtig verstanden und wird bald wieder vergessen¹²³. Der zweite Kristall im Bild soll darstellen, dass auch an anderen Stellen eine Kristallisation beginnen kann und dass dann allmählich die Kristalle zu einem Ganzen zusammenwachsen. „Warum schwimmt ein Eisen-schiff?“ könnte ein Kristallisationspunkt sein, von dem aus das Gesetz von Archimedes, der Schweredruck des Wassers usw. erschlossen werden kann. Und wenn Torricelli sagt: „Wir leben untergetaucht auf dem Grund eines Meeres von elementarer Luft“¹²⁴ dann fügen sich diese exemplarisch ausgewählten Themen, diese Einzelkristalle, zusammen.

¹²¹ Martin Wagenschein: „Das von Berg ausgewählte Titelblatt der Schneekristalle gefiel mir ausnehmend ...: Eine um sich greifende Kristallisation, ein Bild des ansteckenden Verstehens.“ (Erinnerungen für morgen; S.125)

¹²² Im Hinblick auf das Wachsen sind die Kristalle auch ein schönes Bild für das Genetische.

¹²³ „Falls wir nun, wie leider meist, auf diese letzte Fassung [die mathematische Formel, U.A.] vorpreschen, uns an sie klammern wie an das endlich erreichte Ufer, sie memorieren, statt uns den Weg zu ihr vertraut zu halten, durch Hin- und Zurückfinden, so ist es eine nur gesunde, eine anerkennenswerte Reaktion des Laien, wenn er das Halbverstandene später ganz aus seinem Gedächtnis hinauswirft.“ Martin Wagenschein: Die Sprache im Physikunterricht; In M.Wagenschein: Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken, Band 2; S.168 und auch Horst Rumpf: Kostbares Befremden - über die anfängliche Nachdenklichkeit bei Wagenschein; S.34: „Die Lehre, die wirkliches Verstehen anbahnen will - sie darf keine Einbahnstrasse werden, sie muss buchstäblich auch immer wieder das Zurückfinden üben.“

¹²⁴ zitiert nach Shmuel Sambursky: Der Weg der Physik; S.337

Martin Wagenschein sagt, er habe nur wenige Themen¹²⁵, die umfassend seiner genetisch-sokratisch-exemplarischen Methode entsprechen. Das Barometer zählt er dazu, ich finde, zu recht.

2.3.2. Pascals Barometer im Rahmen der Lehrkunst-Didaktik

2.3.2.1. Lehrkunst-Dramaturgie: Die Theatermetapher

Gottfried Hausmann schreibt: „Die Dramaturgie ist der Schlüssel zur Didaktik“.¹²⁶ Die Metapher des Theaters hat sich in der Lehrkunst-Didaktik als sehr fruchtbar erwiesen. Viele, wenn auch nicht alle Aspekte der Gestaltung und Inszenierung eines Lehrstücks lassen sich mit diesem Bild verdeutlichen¹²⁷. Ich stelle im Folgenden das Lehrstück „Pascals Barometer“ Brechts Schauspiel „Leben des Galilei“ gegenüber. Ich habe dieses Stück gewählt, weil Galilei als Hauptfigur von Brechts Schauspiel auch im Barometer-Lehrstück auftritt.¹²⁸

Im Theater gibt es den Autor, der ein Thema anhand einer Figur in eine Folge von Handlungen, in ein Drama, umsetzt, das auf der Bühne aufgeführt werden kann. Der Regisseur inszeniert mit den Schauspielern das Stück und löst dabei beim Zuschauer Reaktionen (Emotionen, Nachdenken,...) aus. Übertragen wir dieses auf die Lehrkunst: Auch hier gibt es den Autor, der sich ein Thema, ein kollektives Lernereignis, auswählt. Es geht beim Schreiben eines Lehrstück nun darum, eine Grundfigur zu finden, einen „Helden“¹²⁹, an dem das kollektive Lernereignis fest gemacht wird. Im Drama ist dies eine Figur, eine Rolle - in unserem Beispiel Galileo Galilei -, im Lehrstück Pascals Barometer ist es das rätselhafte Bierglas, das nun eine Folge von Lernsituationen durchläuft: „Es verwandelt sich zuerst in einen 12 m langen Plastikschauch, dann in die Flasche mit dem zunächst vollen, dann leeren Luftbauch, und schliesslich in eine Kupferkugel, aus zwei Halbkugeln, wiederum mit und ohne Luft im Kugelbauch. Und von Guerickes Magdeburger Kupferkugel kann ich zurückblicken auf Wagenscheins Bierglas: eine spannende, verwickelte und doch durchsichtige Entwicklungsgeschichte unserer Luftdruckfigur“¹³⁰

¹²⁵ „Ich habe ein Repertoire von vielleicht zehn [Themen], mehr habe ich noch nicht.“ Martin Wagenschein, Video-Aufnahme, 1987

¹²⁶ Gottfried Hausmann: Didaktik als Dramaturgie des Unterrichts; S. 78/79

¹²⁷ „[Theodor] Schulze weist durchgehend nach, dass die Ähnlichkeiten, Beziehungen, Parallelen, Analogien zwischen Dramaturgie und (Lehrkunst)-Didaktik erstaunlich zahlreich, theoretisch erhellend und vor allem stimulierend für die Gestalter eines bildenden Unterrichts sein können; zugleich zeigt er aber - im Unterschied zu Hausmann - dass nirgends »Isomorphien« (Gleichförmigkeiten) vorliegen.“

Wolfgang Klafki: Exempel hochqualifizierter Unterrichtskultur; S.19

¹²⁸ Interessant ist, dass auch Bertolt Brecht den Begriff „Lehrstück“ in seinen „Anmerkungen zu Stücken und Aufführungen“ verwendet. Er schreibt: „Es liegt dem Lehrstück die Erwartung zugrunde, dass der Spielende durch die Durchführung bestimmter Handlungsweisen, Einnahmen bestimmter Haltungen, Wiedergabe bestimmter Reden und so weiter gesellschaftlich beeinflusst werden kann“. (B.Brecht: Anmerkungen zu Stücken und Aufführungen; Gesammelte Werke, S.1024)

¹²⁹ „Das Lehrstück braucht einen Protagonisten, einen Helden. Der Held ist jedoch keine Person, sondern - ja, wie soll ich sagen - ein Phänomen, ein Gebilde, ein Konzept, das wie eine »Figur« im Drama agiert, das eine »Entwicklung« durchläuft, das in eine »Krise« gerät, das am Ende in einer neuen Gestalt aus den Handlungen und Verwicklungen hervorgeht.“ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S.379

¹³⁰ Hans Christoph Berg: Aeschlimanns Barometer - ein Lehrstück?; In: Marburger Lehrkunst-Werkstattbriefe, Herbst 1998, S.28

<u>Drama im Theater</u>	<u>Lehrstück im Unterricht</u>	
Bertolt Brecht	Autor	Ueli Aeschlimann, nach einer Idee von Martin Wagenschein
die Verantwortung des Naturwissenschaftlers	Thema	vom "horror vacui" zum Luftdruck
Galileo Galilei	Grundfigur	das rätselhafte Bierglas
im Drama wird der Gang der Handlung beschrieben: - Galilei beim Forschen, - die Inquisition, - die Verbannung	Handlung	im Lehrstück wird eine Folge von Lernsituationen beschrieben: - der zwölf-Meter-Schlauch - die volle und leere Flasche - die Magdeburger Halbkugeln
Regisseur, der das Stück inszeniert	Regisseur	Lehrer, der das Lehrstück inszeniert (hier: Ueli Aeschlimann, Bern 1995 und Bern 1998)
Ensemble des Theaters	Schauspieler	hier ist der Vergleich schwierig: an sich sind es die Schüler, aber es gibt keine festen Rollen und Texte.
Theaterbesucher	Zuschauer	Schüler und Schülerinnen bei der Reflexion des Lernprozesses
Emotionen und Nachdenken auslösen bei den Zuschauern	Ziel einwurzeln	Lernprozesse bei den Schülern, zB. - das Bild des Luftmeeres soll - der Schüler soll sehen, wie die Naturwissenschaftler arbeiten: Phänomen (Bierglas) - Hypothese Vakuumscheu / Luftdruck) - Experiment (Schlauch, Barometer auf dem Puy de Dôme) - Theorie (Barometerformel)
Hat es den Zuschauern gefallen? ¹³¹ Welche Rezensionen erhält das Stück?	Beurteilung	Hat es den Schülern gefallen? Was haben sie gelernt? Was sagen Fachkollegen und Didaktiker? ¹³²

¹³¹ „gefallen“ meint hier nicht nur: es ist schön, sondern auch: es beeindruckt mich, es berührt mich. Kann man von Picassos Bild „Guernica“ sagen, es sei schön? Wohl kaum, und trotzdem gehört es zu seinen grossen Werken, weil es einen starken Eindruck hinterlässt.

¹³² Den Schülern und Schülerinnen hat das Lehrstück gefallen. David schreibt in seinem Rückblick: „Das Lehrstück „Barometer“ hat mir sehr gut gefallen. Die vielen anschaulichen und interessanten Experimente haben mich immer wieder ins Staunen versetzt und zum Nachdenken bewegt.“ Auch die Rezensionen sind erfreulich ausgefallen, z.B. Jürgen Wichmann: „Die Darstellung von Pascals Barometer ... ist ein überzeugendes Meisterstück aus der Lehrkunstwerkstatt.“ In: Praxis Schule 5-10, Heft 4/98

Bei Brecht ist das Nachdenken wichtiger als die Emotionen: „Das Wesentliche am epischen Theater ist es vielleicht, dass es nicht so sehr an das Gefühl, sondern mehr an die Ratio des Zuschauers appelliert. Nicht miterleben soll der Zuschauer, sondern sich auseinandersetzen.“¹³³ Der letzte Satz ist ganz zentral für den Unterricht, den die Lehrkunst anstrebt: Die Schüler und Schülerinnen sollen sich aktiv mit dem Lehrstück auseinandersetzen. Bei „Pascals Barometer“: selber nachdenken, Hypothesen aufstellen, Experimente vorschlagen, durchführen und Folgerungen daraus ziehen, statt nur dem Lehrer zuzuhören.¹³⁴ „Der tiefere Sinn der Theaterkunst wie der Lehrkunst liegt darin, dass beide zum »Wachstum des geistigen Gehalts« und damit zur »Bildung des Menschen« beitragen - jede auf ihre Weise.“¹³⁵

2.3.2.2. Lehrstück-Dramaturgie: fünf Lehrstückmerkmale - am Barometer-Lehrstück
Theodor Schulze schreibt: „Ein Lehrstück ist eine dramaturgisch gestaltete Vorlage für eine begrenzte, in sich zusammenhängende und selbständige Unterrichtseinheit mit einer besonderen, konzept- und bereicherschiessenden Thematik.“¹³⁶ Ich will im Folgenden die fünf Merkmale eines Lehrstücks, die sich aus dieser Definition ergeben, am Lehrstück „Pascals Barometer“ diskutieren.¹³⁷

1. Zeitliche Beschränkung: Ein Lehrstück befasst sich mit einer mittleren Perspektive. Es geht nicht um die Gestaltung einer Einzelstunde und auch nicht um die Planung eines Semesters. Der im Lehrkunstwerkstatt-Buch beschriebene Unterricht umfasste 16 Stunden und passt damit in den von Theodor Schulze vorgeschlagenen Rahmen von 10 bis 20 Unterrichtsstunden.

2. In sich geschlossener Zusammenhang: Erleben die Schüler und Schülerinnen diese 16 Stunden als Einheit? Sieht er oder sie den Zusammenhang zwischen dem Anfang und dem Schluss ?

Das an den Anfang gestellte Rätsel mit dem Bierglas wird aufgelöst durch den 12 m langen Schlauch, der seinerseits als Barometer zur Messung des Luftdrucks betrachtet werden kann. Wie entsteht der Luftdruck? Die Messung des Luftgewichts und die Besprechung von Pascals Versuch am Puy de Dôme lösen das zweite Rätsel. Vom Puy de Dôme blicken wir zurück auf das rätselhafte Bierglas und vorwärts auf das Wetter. Auch wenn dieses letzte Kapitel etwas von den übrigen abgesetzt ist (auch methodisch), scheint mir der innere Zusammenhang deutlich zu sein.

3. Selbständiger Charakter: Ohne spezielle Vorkenntnisse konnten die Schüler und Schülerinnen die Erkenntnisse im sokratischen Gespräch erarbeiten. Dadurch ist belegt, dass das Lehrstück nicht ein Kapitel innerhalb eines systematischen Lehrgangs ist, sondern eine selbständige Einheit bildet.¹³⁸

¹³³ Bertolt Brecht: Der Weg zum zeitgenössischen Theater; In: Gesammelte Werke 15, edition suhrkamp, S.132

¹³⁴ „Ein unendlicher Unterschied liegt dazwischen, ob ich doziere: das ist so, und hier ist der Beweis; oder ob ich sage und verlange: denke darüber nach, wie es ist!“ Adolf Diesterweg: Populäre Himmelskunde und astronomische Geographie; S.6

¹³⁵ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S.383

¹³⁶ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S.361

¹³⁷ Vergleiche dazu: Hans Christoph Berg: Aeschlimanns Barometer - ein Lehrstück?; In: Marburger Lehrkunst-Werkstattbriefe, Herbst 1997, S.26-29

¹³⁸ Der Unterricht, von dem in Lehrkunstwerkstatt I berichtet wird, fand in einer 10.Klasse (1.Jahr der seminaristischen Lehrerbildung) statt. 1998 habe ich das Lehrstück in analoger Weise in einer

4. Konzept- und bereichserschliessende Thematik: Theodor Schulze verwendet auch den Begriff „Menschheitsthema“ und meint damit „ein Thema, das die Menschen anhaltend und immer wieder beschäftigt hat.“¹³⁹ „Wenn das Wasser hinausginge, gäbe es einen luftleeren Raum“ sagt Susanne¹⁴⁰ und denkt: „Das kann es nicht geben, deshalb bleibt das Wasser im Glas.“ Diese Ansicht ist tief verwurzelt. Die Vorstellung eines Vakuums, eines völlig leeren Raums widerstrebt nicht nur unserer Erfahrung, es löst auch ein schwer zu beschreibendes Unbehagen aus. Andererseits wissen wir heute, dass es Vakuum gibt. Damit dieses Wissen nicht „Scheinwissen“ (Wagenschein) bleibt, sondern verstanden wird, muss jeder von uns in einem Lernprozess die der Alltagserfahrung widersprechende neue Sichtweise aufbauen. Die Beschäftigung mit dem Vakuum ist daher sicher ein Menschheitsthema.

Wenn wir davon ausgehen, dass Lernprozesse von jedem Individuum wieder neu bewältigt werden müssen (Horst Rumpf schreibt: „Erkenntnisse lassen sich nicht transportieren wie Kartoffeln, sie sind neu zu erzeugen“¹⁴¹), dann muss ein Lehrer oder eine Lehrerin zweierlei tun, wenn er oder sie die Schwierigkeiten eines konkreten Themas verstehen und antizipieren will:

1. Er oder sie muss sich überlegen: Wie habe ich selbst diese Sache gelernt? Welche Schwierigkeiten musste ich dabei überwinden?¹⁴²

2. Der individuelle Prozess des Umdenkens von der Vakuum-Scheu zur Vorstellung des Luftmeeres musste auch in der Geschichte der Menschheit bewältigt werden, Theodor Schulze spricht vom „kollektiven Lernereignis“. Wenn ein Lehrer oder eine Lehrerin das kollektive Lernereignis studiert, sieht er oder sie, welche Schwierigkeiten überwunden werden mussten, als das Thema in der Menschheit gelernt wurde. Viele dieser damals aktuellen Fragen und Denkweisen wird er oder sie bei den Schülern und Schülerinnen wieder antreffen. Ich halte den Begriff des „kollektiven Lernereignisses“ für bedeutsam und zentral in der Lehrkustdidaktik und will ihn am Beispiel des Barometer-Lehrstücks diskutieren.

Meine Erfahrung zeigt, dass zur Erklärung des Bierglas-Phänomens immer wieder die beiden Hypothesen: Vakuumscheu und Luftdruck vorgeschlagen werden. Es ist Ziel der Dramaturgie dieses Lehrstücks, diesen Konflikt zu verstärken anhand anderer Gefässe: grosse Flaschen, lange Glasrohre, ... Der „horror vacui“ soll dann durch den langen Schlauch im Treppenhaus als unhaltbare Vorstellung erscheinen und durch die neue Sicht des Luftdrucks abgelöst werden.

Entscheidet der lange Schlauch wirklich zugunsten des Luftdrucks? Könnte man nicht dem Vakuum eine begrenzte Kraft zuschreiben?¹⁴³ So argumentierte auch Galilei. Ich möchte das mit den entsprechenden Textstellen aus den Discorsi¹⁴⁴ belegen:

13.Klasse (am Ende des fachlichen Teils der Lehrerausbildung) inszeniert, 1999 am Ende einer 12.Klasse.

¹³⁹ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S.386

¹⁴⁰ aus dem Unterrichtsbericht zu Pascals Barometer, Lehrkunstwerkstatt I; S.93

¹⁴¹ Horst Rumpf: Mit fremdem Blick; S.132

¹⁴² Zur Bedeutung des Biographischen im Lernprozess siehe z.B. Peter Buck: Einwurzelung und Verdichtung; S.41 ff

¹⁴³ In der zweiten Durchführung des Barometer-Lehrstücks (1998) wurde diese Idee von einer Schülerin vehement vertreten.

¹⁴⁴ Galileo Galilei: Unterredungen und mathematische Demonstrationen; S.14/15

Der Innenraum des Zylinders wird mit Wasser gefüllt. Salviati: „Nachdem alle Luft aus dem Hohlraum ausgetreten, zieht man das Eisen mit seinem conischen Ende straff an und bewirkt dadurch einen festen Verschluss mit dem Kolben.“ Nun befestigt man „an dem Haken ein Geschirr mit Sand und schüttet so viel auf, dass schliesslich die Oberfläche des Kolbens von der Wasseroberfläche sich trennt. Bisher waren beide nur durch das Widerstreben des Vacuums miteinander vereinigt: wägt man nun den Kolben mit dem Eisenstabe, dem Gefäss und seinem Inhalte, so haben wir die Kraft des Vacuums.“



Wissenschaftsgeschichtlich führte nicht der lange Schlauch, sondern erst Pascals Expedition am Puy de Dôme zum Durchbruch der neuen Sichtweise. In Pascals Worten: „...dass jener auf den Bergen angestellte Versuch den Allerweltsglauben, die Natur verabscheue die Leere, zertrümmert hat.“¹⁴⁵ Denn warum sollte die Natur in den Bergen weniger Abscheu vor dem Vakuum empfinden als im Tal? Und warum sollte das Wetter die Abscheu vor dem Vakuum beeinflussen? Den Paradigmenwechsel vom „horror vacui“ zum Luftdruck, von Galilei zu Pascal habe ich den Schülern und Schülerinnen im Kapitel "historischer Überblick" (11.Stunde) dargestellt.

5.Dramaturgische Gestaltung

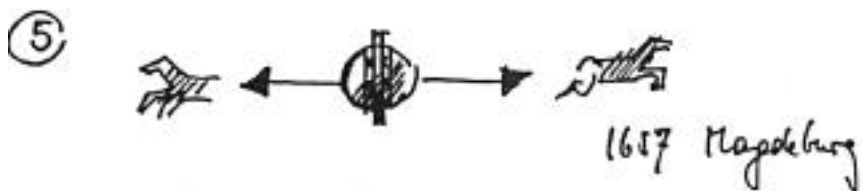
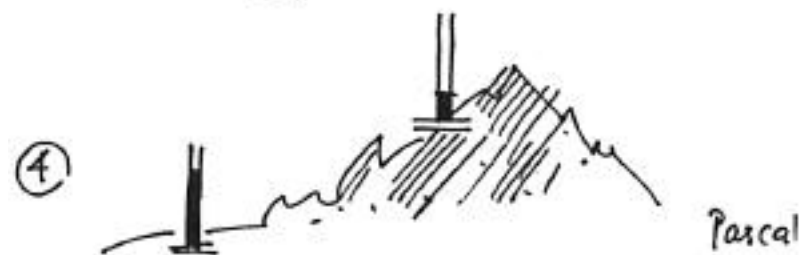
„Ein Drama ist ein in sich zusammenhängendes Handlungsgefüge. ...Es gliedert sich in Szenen und Akte. ... Diese gehen folgerichtig auseinander hervor; sie bilden eine Einheit, die sich entfaltet.“¹⁴⁶ Es geht bei der Ausarbeitung eines Lehrstücks darum, die „Inhalte in Handlungen zu verwandeln“¹⁴⁷, die in einer sinnvollen Abfolge stehen und zusammen ein Ganzes bilden. Die Gestalt von „Pascals Barometer“ entstand nach langem Suchen und Ringen. Ich habe mich dabei auf meine Unterrichtserfahrung und auf die Auseinandersetzung mit andern Lehrstücken gestützt. In den Gesprächen mit Hans Christoph Berg und in der Lehrkunstwerkstatt wurde das Lehrstück diskutiert und hat so schliesslich die heutige Gestalt gefunden. Ruedi Pfirter, Kunstdozent und anerkannter Künstler aus Liestal, hat für das Lehrstück „Pascals Barometer“ die zentralen Szenen in Skizzen dargestellt:

¹⁴⁵ zitiert nach Albert Begui, siehe Lehrkunstwerkstatt1, S.110/111

¹⁴⁶ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S.377

¹⁴⁷ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S. 37

BAROMETER



20.1.1998 / Z. Hirtner

3. Faradays Kerze

„Faradays Kerze sollte jeder Lehrer kennen¹⁴⁸“ schreibt Wagenschein. Die Lehrkunst hat diesen Hinweis ernst genommen. Faradays Weihnachtsvorlesung für Kinder aus dem Jahre 1861 bietet in der Tat eine Fülle von Anregungen für den Chemieunterricht. Kapitel 3.1. gibt einen Überblick über Faradays Vorlesung.

„Die Kerze zieht die Blicke an und macht die Augen rund“ (Wagenschein), ihr ruhiges Licht zieht uns in seinen Bann, gibt uns Geborgenheit: Ein wunderbarer Gegenstand als Mittelpunkt eines exemplarischen Unterrichts. Aber: Faraday dozierte, unterstützt durch Experimente, die meist sein Assistent, Seargent Anderson, durchführte. Wie kann man aus Faradays Vorlage einen genetisch-dramaturgischen, vielleicht auch sokratischen Unterricht komponieren? Es geht, und das Lehrstück Faradays Kerze erwies sich bald als eines der zentralen Exempel der Lehrkunstdidaktik. Es lässt sich auf unterschiedlichen Stufen unterrichten, wie aus den vorliegenden Unterrichtsberichten deutlich werden soll: Der erste Unterrichtsbericht (Kapitel 3.2.1.) beschreibt den Kerzen-Unterricht mit einer vierten Klasse¹⁴⁹. Ihm steht ein zweiter Bericht gegenüber (Kapitel 3.2.2.), der den Unterricht mit Studenten und Studentinnen der Lehrerbildung beschreibt.

Es liegen inzwischen eine ganze Reihe von Unterrichtsberichten von verschiedenen Lehrern in unterschiedlichen Klassen vor. Drei Inszenierungen, die in der Entwicklung der Lehrkunst eine wichtige Rolle spielten, werden in kurzen Zusammenfassungen vorgestellt: Die Inszenierungen von Hartmut Klein, Ortwin Johannsen und Eberhard Theophel. In einer Synopsis (Kapitel 3.4.) soll geklärt werden, welche dramaturgische Grundlinie, welches resultierende Lehrstück sich aus den vorliegenden Variationen herauskristallisiert.

Auch für dieses Lehrstück wird eine didaktische Interpretation vorgelegt (Kapitel 3.3.) Es stellt sich dabei insbesondere die Frage, ob Wagenscheins Ansatz des genetisch-sokratisch-exemplarischen Unterrichts im Chemieunterricht möglich ist und wie Wagenscheins „Funktionsziele für den Physikunterricht“ auf die Chemie übertragen werden können.

¹⁴⁸ Martin Wagenschein: Die Pädagogische Dimension der Physik; S.203

¹⁴⁹ Ueli Aeschlimann: Warum leuchtet die Kerzenflamme?

3.1. Vorlage

3.1.1. Zusammenfassung von Faradays Vorlesung

Englische Originalfassung:

Lectures on the chemical history of a candle; Griffin, Bohn and company, London; 1861

Deutsche Ausgaben:

Naturgeschichte einer Kerze, übersetzt und mit Anmerkungen herausgegeben von Günther Bugge; Reclam, Stuttgart; 1959

Naturgeschichte einer Kerze, herausgegeben von Peter Buck, Übersetzung von Richard Meyer (1884); Franzbecker, Bad Salzdetfurt, 1979

1. Vorlesung

Faraday wählt die Kerze als Thema seiner Vorlesung, weil sich an diesem alltäglichen und zugleich wunderbaren Gegenstand auf einfache Weise sehr viele interessante Dinge entdecken lassen: „Schwerlich möchte sich ein bequemerer Tor zum Eingang in das Studium der Natur finden lassen (S.25)¹⁵⁰“ Das stimmt auch heute noch, obwohl die Kerze durch die Erfindung des elektrischen Lichts nicht mehr die zentrale Bedeutung hat wie noch in der Mitte des letzten Jahrhunderts.

Faraday beginnt seine Vorlesung mit der Beschreibung, wie Kerzen hergestellt werden. Er beschreibt die Materialien: den Rindertalg, aus dem die billigen, heute nicht mehr verwendeten Talgkerzen hergestellt werden und der auch Ausgangsmaterial für die Herstellung von Stearin ist, das Paraffin - ein Erdölprodukt - und das edle Bienenwachs. Faraday beschreibt dann, wie Kerzen hergestellt werden: Beim Ziehen von Kerzen wird der Docht immer wieder in den flüssigen Talg eingetaucht. Talg, Stearin und Paraffin lassen sich auch in Formen gießen. Beim Bienenwachs wird das flüssige Wachs mit Schöpfkellen über herabhängende Dochte gegossen. Faraday schliesst diesen Teil ab, indem er einige schöne Kerzen zeigt und auch darauf hinweist, dass Verzierungen, welche die Form der Kerze verändern, das regelmässige Abbrennen beeinträchtigen.

Faraday wendet sich dann der Flamme zu. Er betont die Wichtigkeit des regelmässigen Luftzuges: Dieser kühlt den Rand der Kerze, während sich in der Mitte durch die Wärme der Flamme ein See mit flüssigem Wachs bildet. Durch den Docht gelangt das flüssige Wachs zur Flamme. Das Emporsteigen im Docht beruht auf der Kapillarkraft, die Faraday mit Experimenten demonstriert: Eine Salzstange, in gesättigte Salzlösung getaucht, saugt sich mit Wasser voll, ein Spanischrohr, in Benzin gestellt, saugt das Benzin zur Spitze, wo es angezündet werden kann.

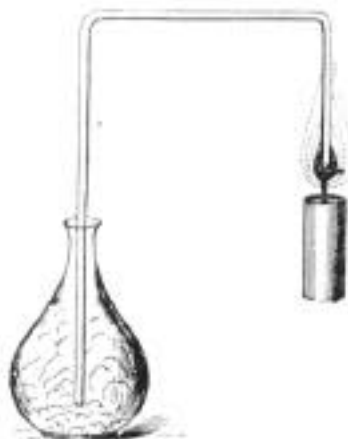
Durch die Hitze der Flamme wird das im Docht aufgesaugte Wachs verdampft. An dieser Stelle zeigt Faraday den Flammensprung: „Ich werde jetzt eine Kerze ausblasen,und wenn ich nun einen brennenden Span dem Docht auf 2 bis 3 Zoll nähere, so bemerkt ihr einen Feuerschein, der durch den Dampf hindurchzuckt, bis er zur Kerze gelangt. (S.43)“ Dann beschreibt Faraday die Flamme: unten abgerundet, blau, oben zugespitzt, leuchtend - „nichts kommt dem Glanz und der Schönheit einer Flamme gleich. (S.45)“ In der Mitte der Flamme ist der Docht und um ihn herum eine dunkle, durchsichtige Zone. Wichtig ist auch „der aufsteigende Luftstrom, der die Flamme nährt, sie mit sich emporzieht und den Rand des Brenn-

¹⁵⁰ Die Seitenzahlen beziehen sich auf die Ausgabe von Peter Buck

schälchens abkühlt (S.48)“. Die Flamme wird dann mit einer elektrischen Lampe beleuchtet: Der hell leuchtende Teil der Flamme wirft einen dunklen Schatten. Zum Schluss dieser ersten Vorlesung stellt Faraday der ruhigen Kerzenflamme die wilden Flammenzungen von brennendem Spiritus gegenüber.

2. Vorlesung

Faraday beginnt diese Vorlesung mit einem Experiment: Er sammelt Wachsdampf aus der Mitte der Kerzenflamme in einem Glasgefäß:



Faraday erhitzt dann in einem Glasgefäß etwas Wachs, um Wachsdampf in größerer Menge zu haben. Der Wachsdampf ist schwerer als Luft, Faraday kann ihn deshalb in ein Schälchen gießen und anzünden. Der Wachsdampf kann auch am Ende des Glasröhrchens, das ihn aus der Kerzenflamme herausführt, angezündet werden. Er kann im Innern der Flamme, wo er durch Verdampfen des vom Docht hochgesaugten Wachses gebildet wird, nicht brennen, weil dort der Sauerstoff fehlt. Deshalb ist es im Zentrum der Flamme - im dunklen Kern - weniger heiss, was Faraday beweist, indem er ein Stück Papier in die Flamme hält: Es entsteht ein brauner, angebrannter Ring. Zur Verbrennung braucht die Kerze also Luft, und zwar frische, unverbrauchte Luft, denn wenn man ein Glasgefäß über die Kerze stülpt, beginnt die Kerze bald zu flackern und erlischt. Umgekehrt kann man die Flamme durch Zufuhr von Luft heller machen, was Argand durch den hohlen Docht seiner Öllampe ausnutzte. Diese Lampe, welche Faraday ausführlich beschreibt, war im 19. Jahrhundert zur Beleuchtung sehr geschätzt.

Faraday demonstriert nun mit Experimenten andere Verbrennungen: Die Verbrennung von Eisenspänen (in einer Schiesspulverflamme) und die Verbrennung von Bärlappsporen (die Faraday in eine Spiritusflamme bläst). Faraday weist dann im leuchtenden Teil der Kerzenflamme Russ nach, indem er ein Glasrohr in diesen Teil der Flamme hält: Aus dem Glasrohr entweicht eine schwarze Wolke. Ohne feste Teilchen, die glühen können, leuchtet eine Flamme nicht, was Faraday mit brennendem Wasserstoff demonstriert: Obwohl die Flamme sehr heiss ist, leuchtet sie nicht. Hält man dagegen ein Stück Kalk, das selber nicht brennt, in die Flamme, so leuchtet sie hell auf (Kalklicht). Faraday leitet dann den schwarzen Rauch, den er mit dem Glasrohr aus dem leuchtenden Teil der Kerzenflamme gewinnt, in die Wasserstoffflamme, die durch den Russ zu leuchten beginnt. Der Russ ist also für das helle, warme Leuchten der Kerzenflamme verantwortlich. Als Ergänzung zeigt Faraday die hell leuchtende Flamme von Phosphor. Auch hier sind feste Teilchen - nicht Russ, sondern Phosphoroxid -, die glühen, für das helle Leuchten verantwortlich. Zum Schluss der Vorlesung wendet sich Faraday den Produkten der Verbrennung zu. In einem Ballon fängt er das Gas auf, das bei der Verbrennung

entsteht. In einem zweiten Versuch leitet er dieses Gas durch ein Glasrohr, das dabei beschlägt, und er verrät auch schon, dass es Wasser ist, was sich am Glasrohr niederschlägt.

3. Vorlesung

Faraday schliesst an die zweite Vorlesung an, indem er sich dem Wasser als Verbrennungsprodukt zuwendet. Als erstes zeigt er, wie man Wasser nachweisen kann: Es reagiert sehr heftig mit Kalium. Dann stellt Faraday eine brennende Kerze unter eine Metallschale, die mit Eis gefüllt ist. Unten an der kalten Schale bilden sich Wassertropfen. Faraday zeigt nun seinen Zuhörern und Zuhörerinnen Flaschen, in denen er Wasser aus Gasflammen, Ölfammen und Kerzenflammen in grösseren Mengen gesammelt hat. Es ist immer dasselbe Wasser, das sich nicht vom Wasser unterscheidet, das wir in der Natur finden. „Wasser ist überall dasselbe, ob es aus dem Ozean oder aus der Kerzenflamme her stammt. (S.90)“ Faraday geht nun auf die Eigenschaften des Wassers ein. Er beweist, dass sich Wasser beim Gefrieren ausdehnt, indem er Wasser in eine gusseiserne Flasche füllt, diese verschliesst und mit einer Kältemischung abkühlt. Mit einem lauten Knall zerspringt die Flasche. Danach zeigt Faraday, dass Wasserdampf viel mehr Platz braucht als Wasser im flüssigen Zustand: Er kocht Wasser in einer Blechdose, verschliesst die Dose und kühlt sie ab. Dabei kondensiert der Wasserdampf im Innern, und die Dose wird durch den Luftdruck zerquetscht. Faraday wendet sich dann den chemischen Reaktionen des Wassers zu: der heftigen Reaktion des Kaliums, das im Kontakt mit Wasser zu brennen beginnt, und der langsamen Reaktion des Wassers mit Eisen, dem Rosten. Als nächstes leitet Faraday Wasserdampf durch ein Rohr, in dem sich glühende Eisenspäne befinden. Dabei wird das Wasser chemisch zerlegt, und Faraday kann am Ende des Rohres Wasserstoff auffangen. Dass es sich beim aufgefangenen Gas um Wasserstoff und nicht um Wasserdampf handelt, erkennt man einerseits daran, dass das Gas beim Abkühlen nicht kondensiert, zudem kann das Gas angezündet werden. Faraday zeigt auch, dass Wasserstoff, weil er sehr leicht ist, von einem Gefäss ins andere aufwärts gegossen werden kann, d.h. die beiden Gefässe müssen beim Umgiessen beide mit der Öffnung nach unten gehalten werden. Faraday zeigt dann eine andere Möglichkeit, um Wasserstoff herzustellen: Zink löst sich in Säure unter Bildung von Wasserstoff auf. Mit dem Wasserstoff füllt Faraday Seifenblasen, die aufsteigen, weil der Wasserstoff sehr leicht ist. Zum Schluss der Vorlesung führt Faraday noch die Volta'sche Batterie vor, mit der er in der nächsten Vorlesung experimentieren will.

4. Vorlesung:

Faraday beschäftigt sich zuerst mit der chemischen Wirkung des elektrischen Stromes. Als erstes gibt er Kupfer in konzentrierte Salpetersäure. Es bildet sich ein braunes, giftiges Gas und eine blaue Lösung. Im Laufe dieser 4. Vorlesung wird Faraday aus diese Lösung mit der Volta'schen Batterie Kupfer abscheiden. In einem zweiten Versuch setzt Faraday ein mit Bleiacetatlösung getränktes Papier der Wirkung des Stromes aus. Auf dem Papier bilden sich dabei braune Flecken. Die Versuche dienten dazu, die chemische Wirkung des elektrischen Stromes zu demonstrieren. Faraday will nun die Volta'sche Batterie auf das Wasser einwirken lassen. Er taucht dazu zwei Platinelektroden in Wasser. Es entwickelt sich ein Gas, das Faraday auffangen kann. Das Gas kondensiert beim Abkühlen nicht, es kann sich also nicht um Wasserdampf handeln. Faraday füllt ein Glasgefäss mit dem aus der Wasserzerlegung gebildeten Gas und löst mit einem Funken eine Explosion aus. „Nach der Explosion bekomme ich immer ein leeres Gefäss, weil der Dampf

oder das Gas, in welches das Wasser durch die Batterie verwandelt wurde, beim Durchschlagen des Funkens explodiert und wieder zu Wasser wird. (S.117)“ Faraday variiert dann seinen Versuch, indem er die an den beiden Elektroden entstehenden Gase getrennt auffängt. Es zeigt sich, dass sich in einem Gefäss Wasserstoff und im andern Gefäss Sauerstoff befindet, im Volumenverhältnis 2:1. Wie kann Sauerstoff ohne Wasserzerlegung hergestellt werden? Faraday erhitzt zu diesem Zweck eine Mischung aus Braunstein und Kaliumchlorat. Auf diese Weise erhält er genügend Sauerstoff, um damit experimentieren zu können. Als erstes zeigt er, dass der Sauerstoff die Verbrennung fördert, denn eine Kerze brennt in reinem Sauerstoff mit hellerer Flamme, erhitzte Eisenspäne, die in der Luft nur glühen, verbrennen im Sauerstoff mit hellem Leuchten, und die Verbrennung von Phosphor, der schon in der Luft gut brennt, ist in reinem Sauerstoff so heftig, dass dieser von Faraday vorgeführte Versuch ziemlich gefährlich ist. Zum Schluss dieser Vorlesung lässt Faraday nochmals Knallgas explodieren, diesmal in einer Seifenblase, die er auf seiner Hand mit einem brennenden Holzspan anzündet.

5. Vorlesung

Faraday beginnt diese Vorlesung mit der Demonstration eines Nachweisverfahrens von Sauerstoff: Wenn man Sauerstoff mit Stickoxid mischt, entsteht ein rotbraunes Gas. Faraday mischt nun reinen Sauerstoff und atmosphärische Luft mit Stickoxid. Die Luft verfärbt sich auch rotbraun, allerdings weniger deutlich als der reine Sauerstoff. Daraus kann man schliessen, dass die Luft neben dem Sauerstoff noch ein anderes Gas enthält: den Stickstoff. Faraday untersucht nun die Eigenschaften von Stickstoff: „Er selbst fängt nicht Feuer, und den brennenden Wachsstock verlöscht er gar. (S.137)“ Dennoch hat er für die Verbrennung eine wichtige Bedeutung: „Der Stickstoff bändigt das Feuer, er macht es uns dienstbar. (S.138)“, denn bestünde unsere Luft nur aus Sauerstoff, so würden alle Verbrennungen viel zu heftig erfolgen, wie Faraday am Ende der vierten Vorlesung demonstrierte. Faraday beschreibt dann, dass unsere Luft ungefähr 4 Raumteile Stickstoff auf 1 Raumteil Sauerstoff enthält. Er nennt auch die Gewichte von Stickstoff (1256 Gramm / Kubikmeter), Sauerstoff (1430 Gramm / Kubikmeter) und Luft (1293 Gramm / Kubikmeter) und führt dann seinen Zuhörern und Zuhörerinnen vor, wie man Gase wiegen kann. In eine kupferne Flasche presst er mit einer Pumpe Luft hinein und kann nun auf einer Waage die Gewichtszunahme messen. Das Gewicht der Luft ist verantwortlich für den Luftdruck, dessen Wirkung Faraday mit einigen Experimenten vorführt. Zuerst verschliesst Faraday mit seiner Hand die Öffnung eines Gefässes. Aus einer andern Öffnung saugt er nun mit einer Pumpe die Luft hinaus: „Seht da, was geschieht! Warum ist meine Hand plötzlich an den Apparat gefesselt? ... Es ist das Gewicht, der Druck der Luft - das Gewicht der darüber befindlichen Luft drückt meine Hand so fest auf den leeren Raum darunter. (S.143/144)“ Dann führt er den Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln vor: Zwei metallene, hohle Halbkugeln, die genau aufeinander passen und aus denen die Luft herausgepumpt werden kann. „Seht, die beiden Hälften lassen sich jetzt, wo Luft darin ist, ganz leicht auseinandernehmen; wenn wir aber die Luft herauspumpen, so werdet ihr nachher sehen, dass je zwei von euch mit allem Kraftaufwand nicht im Stande sind, sie auseinanderzuziehen. (S.146)“ Ein weiteres Experiment: „Nehmt ein Weinglas, ganz oder halb voll Wasser, legt ein glattes Stück Papier oben auf, dreht es vorsichtig um, wie ich's hier mache, das Wasser kann nicht heraus, da es durch den äusseren Luftdruck zurückgehalten wird. (S.149)“

Faraday wendet sich dann wieder der Verbrennung der Kerze zu. Er zeigt, dass bei der Verbrennung ein Gas entsteht, welches das Feuer erstickt, das aber nicht Stick-

stoff ist, weil es, durch Kalkwasser geleitet, dieses milchig weiss färbt. Faraday nennt dieses Gas Kohlensäure¹⁵¹. „Die Kohlensäure findet sich in grosser Menge in der Natur und zwar in vielen Fällen, wo ihr sie am wenigsten suchen würdet. ... alle Kalk- und Kreidegebirge, alle Muschelschalen, Korallen und dergleichen enthalten grosse Mengen Kohlensäure. (S.157)“ Man kann die Kohlensäure aus dem Kalk freisetzen: Wenn man Kalk in Säure gibt, entsteht sofort ein heftiges Aufschäumen. Die Kohlensäure ist schwerer als Luft und sammelt sich im Gefäss, so dass ein Wachslicht sofort auslöscht, wenn man es in das Gefäss eintaucht. Faraday giesst dann die gasförmige Kohlensäure in ein mit Luft gefülltes, auf einer Waage stehendes Gefäss. Die Waage zeigt an, dass die Kohlensäure schwerer ist als die Luft, die vorher im Gefäss war. Faraday schliesst diese Vorlesung mit einem letzten Experiment ab: Eine mit Luft gefüllte Seifenblase schwimmt auf Kohlensäure.

6.Vorlesung

Faraday beschäftigt sich zu Beginn der letzten Vorlesung nochmals mit der Kohlensäure. Er verbrennt Holzkohle in reinem Sauerstoff. Dabei entsteht Kohlensäure, die er mit Kalkwasser nachweist. Umgekehrt gelingt es, die Kohlensäure wieder in Sauerstoff und Kohlenstoff zu zerlegen. Dazu bringt Faraday brennendes Kalium in Kohlensäure. „Ihr seht, dass es in der Kohlensäure brennt - nicht so gut wie in der Luft, weil die Kohlensäure den Sauerstoff ziemlich festhält; aber es brennt doch weiter und nimmt den Sauerstoff fort (S.172)“, so dass schliesslich Kohle entsteht. Faraday wendet sich dann „der Beziehung zwischen der Verbrennung unserer Kerze und jener lebendigen Art von Verbrennung, welche in unserem Körper vorgeht (S.177)“ zu. Mit zwei Experimenten zeigt er, dass die Kerze in der von uns ausgeatmeten Luft nicht brennen kann, denn in unseren Lungen verbrauchen wir den Sauerstoff. Faraday kann in der ausgeatmeten Luft mit Kalkwasser die Kohlensäure nachweisen und zeigt damit, dass der eingeatmete Sauerstoff sich mit Kohlenstoff verbunden haben muss. Der Kohlenstoff stammt aus unserer Nahrung. Um das zu beweisen, übergiesst Faraday Zucker mit Schwefelsäure. Diese entreisst dem Zucker Wasser, und zurück bleibt die schwarze Kohle. „Ein erwachsener Mann verwandelt in 24 Stunden ... nahezu ein halbes Pfund Kohle in Kohlensäure (S.188)“, um seine Körperwärme aufrecht zu erhalten und um sich zu bewegen. „Was aber wird nun aus der Kohlensäure? Wahrhaft wunderbar ist es zu sehen, dass dieses Atmungsprodukt zur Lebensquelle einer andern Klasse von Geschöpfen wird: die Pflanzenwelt auf unserer Erdoberfläche saugt die Kohlensäure als Nahrungsstoff ein (S.190/191)“, und die Pflanzen produzieren aus der Kohlensäure den Sauerstoff, den wir zum Atmen benötigen. Auf diese Weise ist der Mensch Teil eines grossen Kreislaufs der Natur.

Faraday weist dann auf den merkwürdigen Umstand hin, dass die Kohle nicht von selbst zu brennen beginnt. Auch die Kerze muss entzündet werden, damit sie zu brennen beginnt. Beim Atmen dagegen verbindet sich der Sauerstoff auch bei den niedrigsten Temperaturen, die der Körper ertragen kann, sofort mit dem Kohlenstoff. Faraday schliesst die Vorlesung mit dem Wunsch, „dass Ihr Euer Leben lang den Vergleich mit der Kerze in jeder Beziehung bestehen möget (S.195)“ Ein hohes Ziel, wenn man bedenkt, wie nützlich, wie vollkommen in ihrer Funktionsweise und wie schön eine Kerze ist!

¹⁵¹ CO₂

3.1.2. „Faradays Kerze“ bei Martin Wagenschein

Faradays „Die Naturgeschichte einer Kerze“ ist eine Chemievorlesung. Wagenschein hat Physik und Mathematik unterrichtet und hat wohl deshalb den Text von Faraday nicht ausführlich bearbeitet. Es gibt zwei Stellen, an denen Wagenschein auf die Kerze eingeht:

1. In seinem Buch „Die Pädagogische Dimension der Physik“¹⁵² weist er auf Faradays Vorlesung hin: „Die Kerze zieht die Blicke an und macht die Augen rund und sammelt die Köpfe um sich, sie erregt das Nachdenken in ihnen auf eine eigentümlich sanfte Weise ... Faradays Kerze sollte jeder Lehrer kennen!“ Wagenschein beschreibt dann ausführlich, was alles von der Physik in dieser Vorlesung steckt: Vom Handwerk des Kerzenziehens zu den Aggregatzuständen, der Wärme und der hellen Flamme: „Sie lockt uns hinein in die Optik“. Die Chemie dagegen lässt Wagenschein bewusst weg.

2. In einem Artikel im „Nordbayrischen Kurier“¹⁵³ zeigt Wagenschein am Flammensprung, dass selbständiges Denken weiter führt als gelerntes Wissen:

„Nach dem Brief einer Mutter (promovierte Chemikerin): Die Jüngste (10) erinnert sich, dass man eine Kerze, gerade ausgeblasen, wieder anzünden könne, ohne mit dem Streichholz den Docht zu berühren. Die grossen Schwestern (13 und 14) bestätigen: das käme eben daher, dass es in der Nähe der Kerze noch so warm sei. Die Kleine - anders - wollte nochmal überprüfen und beobachtet, aus welcher Entfernung man die Kerze wieder zünden könne. Dann erklärt sie ganz plötzlich und bestimmt: „Jetzt weiss ich's: Es ist der Nebel über der ausgelöschten Kerze, der wieder anfängt zu brennen!“ Die Grossen, verblüfft, geben es zu. - Die Kleine fand allein zum völlig richtigen naturwissenschaftlich-methodischen Verfahren. Die Grossen, die fabelhafte physikalische Gesetze und hochtrabende Definitionen im Heft hatten, waren ratlos; nicht gewöhnt, durch Probleme zu Lösungsverfahren angeregt zu werden.“

Die promovierte Chemikerin ist Gerda Freise, die Wagenschein ihre Beobachtung in einem Brief am 23.10.68 mitgeteilt hatte. Wagenschein schreibt Freise zurück: „Ihre Jüngste und die Kerze: ich habe es gleich in der TH Darmstadt zur Eröffnung meiner Übung gemacht und bedenken lassen..“¹⁵⁴

¹⁵² Martin Wagenschein: Die Pädagogische Dimension der Physik; S.203-205

¹⁵³ Martin Wagenschein: Der Mond reist mit nach Ulm; Nordbayrischer Kurier, 17./18.11.1979

¹⁵⁴ siehe Peter Buck: Der Briefwechsel zwischen Freise und Wagenschein; Chim. did. 3 / 96, S.357

3.2. Unterrichtsberichte

3.2.1. Die Kerze in einer 4.Klasse der Volksschule

Unterricht - das ist das gemeinsame
ruhige Anschauen einer Sache
Horst Rumpf

Einleitung

Wagenschein schrieb: „Warum muss »Physik« so spät beginnen und dann gleich der Reihe nach und nicht lieber früh und dem Erstaunlichen nach?“¹⁵⁵ Der nachfolgende Bericht beschreibt den Unterricht des Lehrstücks „Faradays Kerze“ in einer 4.Klasse. Margrit Küpfer stellte mir für den Unterricht ihre Klasse an der Primarschule Rüti zur Verfügung. Ziel des Unterrichts war nicht, in der vierten Klasse mit Chemie anzufangen, sondern: Lernen, genau hinzuschauen, Fragen zu entwickeln und darüber gemeinsam nachzudenken. Dass die Kerze genügend Anziehungskraft besitzt, um in einer vierten Klasse im Zentrum zu stehen, war mir klar. Weniger sicher war ich, ob die Schüler und Schülerinnen auf dieser Stufe über die für diesen Unterricht notwendige Fähigkeit, logische Zusammenhänge zu erkennen oder zumindest nachvollziehen, verfügen würden. Der Unterricht hat gezeigt, dass dies in unterschiedlichem Mass gelang: Bei André und Michel gelang es ganz bestimmt, wie die transkribierten Gesprächsteile zeigen. Andere Schüler und Schülerinnen haben sich im Gespräch weniger beteiligt, aber ihre Hefteinträge, die völlig frei, ohne grosse Vorgaben und Hilfen von Lehrerseite gestaltet wurden, belegen, dass sie wesentliche Teile verstanden haben. Daneben gab es aber auch einige, die durch diesen Unterricht zum Teil überfordert wurden. Wichtig ist, dass bei ihnen die Freude am Beobachten nicht zugeschüttet wurde durch für sie unerreichbare Leistungsforderungen. Sie haben im Heft vor allem gezeichnet und nur wenig geschrieben, manchmal ging es nur mit Unterstützung von Lehrerseite. Für den Unterricht stand ein Nachmittag pro Woche mit einer Doppelstunde statt. Ursprünglich hatten wir drei Nachmittage vor Weihnachten (1992) eingeplant, in denen die Schüler und Schülerinnen im Gespräch klären sollten: „Was brennt: das Wachs oder der Docht? Warum braucht die Kerze einen Docht?“ (1.Akt)

Der Docht zieht den
flüssigen Wachs ein.
Oben ist es heiss. Der
Wachs verdampft und
wird verbrannt.

Hefteintrag von Mirjam

¹⁵⁵ Martin Wagenschein: Kinder auf dem Weg zur Physik; S.54

Der erfolgreiche Verlauf dieser drei Nachmittage bewog uns, nach den Weihnachtsferien noch zwei Nachmittage weiterzufahren, in denen der 2.Akt: „Warum leuchtet die Flamme?“ erarbeitet wurde.

Der folgende Unterrichtsbericht wurde publiziert in: Ueli Aeschlimann: Warum leuchtet die Kerzenflamme, Schriftenreihe der Schweizerischen Wagenschein-Gesellschaft, Heft 4 (1993).

Der erste Nachmittag: fest - flüssig - gasförmig

21 lebhafte, interessierte Schüler und Schülerinnen sitzen eng nebeneinander im Halbkreis um mich herum. Ich verteile jedem ein Blatt Papier und bitte sie, aus dem Gedächtnis eine Kerzenflamme zu zeichnen. Wie oft haben wir alle schon eine brennende Kerze betrachtet, und trotzdem fällt es uns schwer, die Flamme aus der Erinnerung zu zeichnen. Es ist deshalb nicht erstaunlich, dass Zeichnungen entstehen, die sehr unterschiedlich sind. Rot und Gelb kommen zwar fast überall vor, viele erinnern sich an Blau, aber wo soll man Blau zeichnen? Und wo fängt die Flamme an: Direkt über der Kerze? Über dem Docht? Oder geht der Docht in die Flamme hinein? Wir sammeln uns dann wieder im Kreis, legen die Zeichnungen vor uns auf den Boden und vergleichen sie: breite und spitze Flammen, verschiedene Farben, mit und ohne Docht. Die Spannung steigt: Wie sieht die Flamme wirklich aus? Wir zünden eine Kerze an und betrachten die Flamme genau. Michel: „Man könnte meinen, dass es zwei Flammen ineinander gibt, zuerst dunkel, dann hell.“ André entdeckt, dass die Flamme nur unten blau ist. Auch die Form wird beschrieben: „eher spitz als rund“. Mein nächster Impuls ist eine scheinbar einfache, bei näherer Betrachtung aber doch schwierige Frage: „Was brennt denn eigentlich?“ André: „Der Docht.“ Lehrer (zögernd): „Seid ihr alle einverstanden?“ Michel: „Das Gas vom Feuerzeug.“ [mit dem ich die Kerze angezündet habe]. Lehrer: „Ja, beim Feuerzeug brennt das Gas. Aber bei der Kerze?“ Einige Schüler und Schülerinnen miteinander: „Der Docht.“ Lehrer (fragend): „Ist es wirklich der Docht?“ Einige Schüler und Schülerinnen (überzeugt): „Ja, ja, der Docht.“ André: „Der Docht ist aus Schnur, und Schnur brennt auch.“ Michel: „Das Wachs verbrennt.“ André: „Wachs verbrennt nicht, es wird nur flüssig.“ Michel: „Aber wenn die Kerze brennt, hat es ja immer weniger Wachs.“ André: „Weil es schmilzt und wegläuft. Wenn Wachs brennen würde, stünde ja die ganze Kerze in Flammen.“ Michel (überrascht): „Ah ja!“ Lehrer: „Was sagen die andern dazu? Ihr habt gehört, was André und Michel gesagt haben, was meint ihr dazu?“ Nicole: „Der Docht brennt. Das Wachs muss wegschmelzen.“ Lehrer: „Was meinst Du damit?“ André: „Das Wachs hält den Docht, sonst würde der Docht umfallen.“ Michel: „Aber dann könnte man ja auch einen Ständer machen, der den Docht hält.“ André: „Es gibt ja den Kienspan.“ Ratlosigkeit. Ich bin immer wieder erstaunt, dass in solchen Situationen nicht viel eher gefragt wird, ob man das ausprobieren kann. Der Vorschlag muss auch hier von mir kommen. Ich nehme also ein Stück Docht und will es anzünden. Die Schüler und Schülerinnen haben Angst, dass es sofort Feuer fängt und mir die Finger verbrennt. Natürlich weiss ich, dass das Experiment ungefährlich ist, aber ich gehe trotzdem auf Andrés Rat („Ich würde eine Zange nehmen.“) ein und halte den Docht mit einer Pinzette. Um auf solche Vorschläge eingehen zu können, muss natürlich immer genügend Material griffbereit sein. Nun also, der Docht wird senkrecht nach oben gehalten und angezündet, wie bei der Kerze. Er brennt mit kleiner Flamme für kurze Zeit, dann löscht die Flamme aus, und der Docht glüht nur noch, wird aber durch diese Glut ziemlich rasch aufgezehrt. Die Schüler und Schülerinnen schlagen vor, den Docht in Wachs zu tränken, und

tatsächlich brennt die Flamme dann wie bei der Kerze. Michel: „Der Docht brennt und das Wachs.“ Ich bin noch nicht zufrieden: „Stimmt Andrés Behauptung, dass Wachs allein nicht brennt?“ Wir halten ein Stück Wachs in die Flamme, es schmilzt. Die Situation ist schwierig, wir kommen nicht recht weiter. Ich schlage deshalb das folgende Experiment vor: In eine kleine Porzellanschale geben wir ein Stück Wachs und erhitzen es mit dem Gasbrenner. Das Wachs schmilzt. Ich versuche, das flüssige Wachs anzuzünden, es gelingt nicht. Wir erhitzen weiter, und es entsteht weisser Rauch, vielleicht lässt er sich anzünden? Ja, es gelingt, und über der ganzen Schale brennt eine lebhafte Flamme, auch wenn ich den Gasbrenner abstelle. Die Schüler sind überrascht: Michel: „Das brennt wie bei der Olympiade.“ Ich lösche das Feuer mit einem Deckel. Das Experiment verlief ziemlich rasch, und wir beschreiben es nun nochmals im Detail. An der Tafel erarbeiten wir die Begriffe.

Der weisse Rauch kann also angezündet werden. André: „Gibt rotes Wachs einen roten Rauch? Eigentlich glaube ich es nicht.“ Wir wollen diese Frage später klären. Mit Zeichnen haben wir unseren Kurs eröffnet, und nun haben wir schon mehr als eine halbe Stunde konzentriert beobachtet, nachgedacht und diskutiert. Höchste Zeit also für einen Rhythmuswechsel. Ich schlage den Schülern vor, zu unserem Thema ein Lied zu lernen. Ich habe Mani Matters Lied „D's Zündhölzli“¹⁵⁶ leicht abgeändert (die von Mani Matter angezündete Zigarette durch unsere Kerze ersetzt). Die Schüler freuen sich, als ich meine Gitarre auspacke. Ich singe die erste Strophe vor, dann summen wir sie gemeinsam. Da viele Schüler das Lied kennen, geht es sehr gut, und ich kann sofort die Textblätter verteilen. Berndeutsch ist gar nicht einfach zu lesen. Manuela liest die erste Strophe vor, fast ohne anzustossen, und dann singen wir sie gemeinsam. Wir lernen auch gleich noch die zweite Strophe und singen zum Abschluss beide Strophen hintereinander. Gemeinsam begeben wir uns dann in den Schulhof. Ich will den Schülern demonstrieren, warum ich die Flamme in der Porzellanschale mit einem Deckel und nicht mit Wasser gelöscht habe. Ich stelle nochmals mein Experiment auf, gebe Wachs, diesmal rotes, in die Porzellanschale und erhitze. Wir sind auf die Farbe des Rauchs gespannt. Er ist, wie André vermutet hat, wieder weiss. Ich zünde den Rauch an, bitte die Schüler, einige Schritte zurückzutreten, und giesse dann aus einem Reagenzglas, das ich zu meinem Schutz an einer Holzlatte befestigt habe, Wasser auf das Feuer. Sofort schiesst eine etwa einen halben Meter hohe Stichflamme empor. Die Schüler und Schülerinnen sind beeindruckt und vernehmen mit staunenden Augen, dass sich brennendes Öl genau gleich verhält und man deshalb brennendes Öl in einer Pfanne nie mit Wasser löschen darf, sondern die Flammen ersticken muss. Ich beschliesse den Nachmittag mit einem letzten Experiment: In einem Reagenzglas erwärme ich vorsichtig etwas weisses Wachs. Wenn es schmilzt, wird es durchsichtig. Als alles Wachs geschmolzen ist, markiere ich den Stand der Flüssigkeit am Reagenzglas und stelle dieses zum Abkühlen in den Ständer. Wir wollen zu Beginn der nächsten Stunde schauen, ob Wachs in festem Zustand mehr oder weniger Platz braucht.

Der zweite Nachmittag: Wachsdampf bei der Kerze

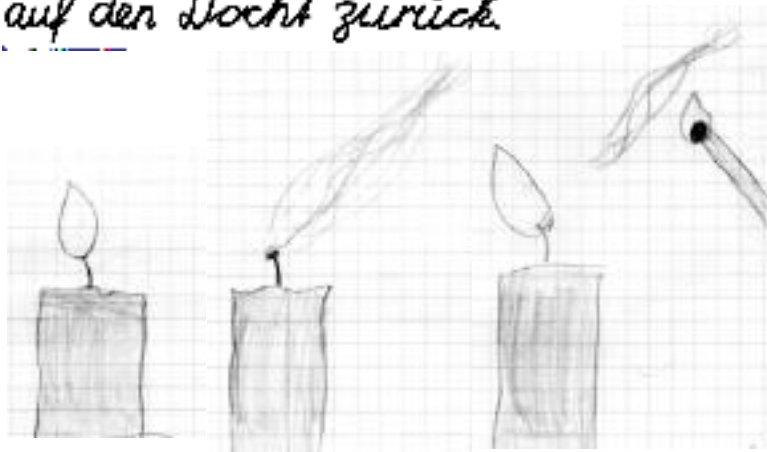
Was ist mit dem Wachs passiert, das wir am Ende der letzten Stunde flüssig gemacht haben? Das Wachs steht im Reagenzglas noch fast gleich hoch, aber in der Mitte ist ein grosses Loch entstanden. Man erkennt es noch besser bei einem

¹⁵⁶ Mani Matter: Us emene lääre Gygechschte; Benziger-Verlag, 1972, S.6-7

Trinkglas, in dem ich Wachs geschmolzen und dann habe erkalten lassen. Warum ein Loch? Wir kommen nicht recht vorwärts, und ich frage deshalb, was passiert wäre, wenn ich das Glas mit Wasser gefüllt und in den Eisschrank gestellt hätte. Ich bin erstaunt, dass niemand weiss, dass das Glas springt. Als ich es erzähle, berichten die Schüler und Schülerinnen von Gläsern, die durch heisses Wasser zersprangen.

Ich muss klären, dass es sich dabei um etwas ganz anderes handelt, dass das Glas beim Gefrieren springt, weil das Eis mehr Platz braucht als das Wasser. Und wie ist das beim Wachs? Das Loch in der Mitte entsteht, weil Wachs in flüssigem Zustand mehr Platz braucht als in festem. Michel erkennt, dass das Wachs in Schichten nach innen "trocknet", er hat verstanden, wie das Loch entsteht. Bei den meisten Schülern und Schülerinnen dürfte aber die Erkenntnis, dass festes Wachs weniger Platz braucht als flüssiges, zu wenig tief gehen, als dass sie im Gedächtnis bleibt. Ich erinnere daran, dass wir in der letzten Stunde den Wachsdampf kennengelernt haben und wissen, dass man ihn anzünden kann. Wo aber ist der Wachsdampf bei der Kerze? Michel: „Wenn man die Kerze ausbläst, raucht sie. Der weisse Rauch entsteht dort, wo der Docht glüht.“ André: „Ausprobieren!“ Wir blasen die Kerze aus und beobachten genau das, was Michel gewusst hat. Lehrer: „Kann man diesen weissen Rauch anzünden?“ Die Schüler und Schülerinnen sind skeptisch, schlagen aber sofort vor, dass wir das ja ausprobieren könnten. Grosses Erstaunen und Freude, als die Flamme vom Zündholz auf die Kerze zurückspringt. Marianne: „Das sieht aus wie beim Zaubern.“ André: „Das ist wie beim Strom. Wenn man mit der Wasserpistole auf eine Leitung spritzt, leitet das Wasser den Strom zu uns.“ Die Schüler wollen wissen, wie weit die Flamme springen kann. Wir probieren einige Male und können einen Sprung von fast 10 cm erreichen. Michel: „Das geht blitzschnell. Kann man das selber ausprobieren, oder ist das gefährlich?“ Natürlich soll jeder Schüler das Experiment selber durchführen können. Während die einzelnen Schüler experimentieren, schreiben die andern den Hefteintrag. Wie soll der Titel heissen? Michel schlägt Feuerleiter vor, mein Vorschlag ist Flammensprung.

*Nir haben eine Kerze aus gepustet.
Es entwickelte sich Rauch.
Nir zündeten den Rauch
an und die Flamme sprang
auf den Docht zurück.*



Flammensprung: Text von Sabine, Zeichnung von André

Als wir wieder im Kreis zusammensitzen, habe ich die Gitarre hervorgeholt. Wir lernen die restlichen zwei Strophen des Liedes. Dann setzen wir das Gespräch fort mit meiner Frage: „Wo ist der Rauch, wenn die Kerze brennt? Gibt es ihn überhaupt, wenn die Kerze brennt?“ Michel vermutet, dass der Rauch mitten in der Flamme ist. Die Schüler und Schülerinnen nehmen diesen Gedanken nicht auf, und das Gespräch schweift ab. Ich muss die Schüler und Schülerinnen wieder auf die Spur zurückholen: „Wie könnten wir Michels Idee prüfen?“ André: „Die Flamme ist wie ein Käfig um den Rauch herum.“ Lehrer: „Aber dann würde es ja in der Flamme immer mehr Rauch haben.“ Michel: „Dann müsste die Flamme immer grösser werden.“ Ronny: „Die Flamme verjagt den Rauch.“ Wieder sind wir festgefahren. Ich muss weiterhelfen: „Der Rauch verbrennt.“ Vielfaches „Aha!“ Ich hole nun ein Glasrohr hervor und stelle es schräg in die Flamme, knapp oberhalb des Dochts. Die Schüler und Schülerinnen schauen gebannt zu, wie der weisse Rauch durch das Glasrohr emporsteigt und oben entweicht. Michel: „Wir haben den Rauch befreit.“ Die Schüler und Schülerinnen staunen, als ich oben am Rohr eine kleine Flamme entzünden kann. Ich zeige noch einen weiteren Versuch, bei dem der Wachsdampf über ein U-Rohr in einen Erlenmeyerkolben geleitet wird. Wie eine Flüssigkeit strömt der weisse Dampf in das Gefäss. Dani: „Das sieht aus wie Milch!“



Ich zeige den Schülern den Glaskolben: Wie Nebel hängt der Dampf in der unteren Hälfte des Gefässes. André: „Kann man das anzünden?“ Demian: „Kann man das berühren?“ Ja, berühren darf man den Wachsdampf, er ist auch nicht heiss, aber das Einatmen des Wachsdampfes ist ungesund. Der Dampf ist also schwerer als Luft, ich kann ihn aus dem Erlenmeyerkolben ausgiessen und anzünden, die Stichflamme beeindruckt die Schüler. Angelo: „Wird der Dampf wieder hart?“ Wir wollen das prüfen und lassen zu diesem Zweck nochmals Wachsdampf in das Glas einströmen. Dann verschliesse ich das Glas und lasse es stehen.

Der dritte Nachmittag: Warum braucht die Kerze einen Docht ?

Ich beginne diesen Nachmittag mit der Erzählung von Prometheus, der den Menschen das Feuer gebracht hat. Einige griechische Götter sind den Schülern und Schülerinnen bekannt, Michel weiss, dass sie auf dem Olymp wohnen, und er erzählt, dass er schon in Griechenland in den Ferien war und mit den Eltern die Tempel der Akropolis besucht hat. Ich erzähle, wie Prometheus die Menschen schuf und ihnen folgende Eigenschaften gab: vom Löwen den Mut, vom Fuchs die Schlaueit, vom Pferd die Treue und vom Stier die Kraft. André: „Ich bin aber nicht

so stark wie ein Stier!“ Prometheus lehrte die Menschen auch schreiben und zählen. Zeus forderte nun, dass die Menschen den Göttern ein Opfer bringen sollten. Die Menschen schlachteten deshalb einen Stier. Prometheus riet ihnen, zwei Haufen zu machen: einen grossen mit den Knochen und einen kleinen mit dem Fleisch. Die beiden Haufen wurden zugedeckt, und Zeus sollte wählen. Natürlich wählte er den grösseren Haufen, und als er merkte, dass er einer List zum Opfer gefallen war, beschloss er, dass die Menschen zur Strafe kein Feuer erhalten sollten. Da Prometheus das Feuer dennoch auf die Erde brachte, indem er eine dürre Pflanze an der Sonne entzündete, wurde er zur Strafe an einen Felsen gekettet, und ein Adler frass jeden Tag ein Stück seiner Leber. Der berühmte Held Herakles rettete schliesslich Prometheus, indem er den Adler mit einem Pfeil erlegte.

Als Fortsetzung des Themas „Kerze“ habe ich geplant, auf den im Glas eingefangenen Wachsdampf zurückzukommen. Ich weiss, dass er nicht mehr zu sehen ist und dass sich dafür am Boden des Glases eine dünne bräunliche Schicht abgesetzt hat. Ich habe vor, das Glas mit dem Brenner etwas zu erwärmen und so zu zeigen, dass aus der braunen Schicht wieder Dampf entsteht. Aber es kommt ganz anders: Die Schüler und Schülerinnen haben in der Zwischenzeit das Glas immer wieder in die Hand genommen, um zu sehen, ob der Dampf noch da sei, und schliesslich ist das Glas dann zu Boden gefallen und zerschlagen. Die vielen Fingerabdrücke auf der Wachsschicht zeigen mir aber, dass die Schüler und Schülerinnen schon selber festgestellt haben: Der weisse Dampf ist nicht einfach verschwunden, sondern er hat sich zu Wachs zurückverwandelt. Wir wissen nun schon einiges über die Kerze, aber meine Frage: „Warum braucht die Kerze einen Docht?“ bringt die Schüler und Schülerinnen wieder in Verlegenheit. Michel: „Der Docht brennt mit der Kerze zusammen, sie sind beide immer gleich lang.“ Lehrer: „Wir wissen aber noch nicht, warum es einen Docht braucht.“ Sabine: „Er macht, dass es brennt.“ Lehrer: „Das müssen wir uns noch genauer überlegen.“ Sabine: „Der Docht muss aus einem Material bestehen, das brennt.“ Wir kommen nicht weiter, und ich nehme deshalb ein Stück Docht und tauche es in das flüssige Wachs einer brennenden Kerze. Wir sehen, dass der Docht das Wachs aufsaugt. Wenn wir den mit Wachs getränkten Docht anzünden, brennt er mit ruhiger Flamme, wie eine Kerze. Ich bitte dann die Schüler und Schülerinnen, aus der Nähe ganz genau zu schauen, was passiert, wenn ich ein brennendes Zündholz dem Docht einer nicht brennenden Kerze nähere. Marianne: „Der Docht ist oben schwarz, unten weiss.“ Michel: „Der Docht fängt an zu glänzen.“ Ronny: „Es wird etwas flüssig.“ André: „Kerzenwachs.“ Lehrer: „Wenn es heiss genug ist, kann das Wachs verdampfen, und dann springt die Zündholzflamme auf den Docht über.“ Nicole: „Und der Docht saugt dann neues Wachs auf.“ Da die Schüler Mühe gehabt haben, die Funktion des Dochts genau zu erfassen, lasse ich Dani und dann auch noch Angelo das Ganze in ihren Worten formulieren, und ich muss bei beiden noch nachhelfen. Bevor wir zum Hefteintrag übergehen, singen wir nochmals das Lied vom Zündhölzli. André hat herausgefunden, dass das Lied sechs Strophen hat. Lehrer: „Ich habe zwei Strophen weggelassen, weil sie zu schwer sind.“ André: „Ja, ich habe sie gelesen, sie sind höllisch schwer.“ In wenigen Tagen ist Weihnachten. Wir runden deshalb das Thema „Kerze“ mit der Geschichte vom Mädchen mit den Schwefelhölzchen (von Hans Christian Andersen) ab.

Der vierte Nachmittag: Die beiden Gasbrenner

Auf dem kleinen Experimentiertisch stehen zwei Campingbrenner. Ich zünde sie an, der eine brennt mit einer grossen, gelben Flamme, der andere mit einer fast unsichtbaren, blauen Flamme. Die Schüler und Schülerinnen sind überrascht. Was ist da los? Folgende Ideen werden geäussert: „Beim einen Brenner ist der Hahn weniger aufgedreht.“ „Es ist ein anderes Gas drin.“ „Im einen Vorratsbehälter ist weniger drin.“ „Im einen ist das Gas älter.“ André behauptet, dass die blaue Flamme heisser ist. Wir prüfen nach, indem wir einen Glasstab in die Flammen halten, zuerst in die gelbe. Der Glasstab wird schwarz. Dann halten wir den Glasstab in die blaue Flamme. Die Schüler und Schülerinnen beobachten, dass der schwarze Belag wieder verschwindet und der Stab dann zu glühen beginnt. Mit der Zeit fängt der Glasstab zu schmelzen an und verbiegt sich. André erinnert sich, dass er einem Glasbläser bei der Arbeit zugesehen hat. Aus unserer Beobachtung schliessen wir, dass die blaue Flamme tatsächlich heisser ist. Michel: „Wieso?“ Lehrer: „Darüber müssen wir nachdenken.“ Michel: „Aha, das geht nicht so einfach.“ Lehrer: „Das wäre doch langweilig, wenn alles immer so einfach wäre. Wir werden das schon herausfinden.“ André: „Kann man das am Brenner einstellen?“ Michel: „Beim einen Brenner [mit der blauen Flamme] hat es zwei Löcher. Vielleicht geht da etwas hinaus.“ Lehrer: „Sehen alle diese Löcher?“ André: „Kann man die Löcher schliessen?“ Lehrer: „Was sollte dann passieren?“ Gül: „Es sollte gelb sein.“ Ich halte mit den Fingern die Löcher zu und zünde an, die Flamme leuchtet gelb. Die Schüler und Schülerinnen sind beeindruckt, als ich die Löcher schnell öffne und die leuchtend gelbe Flamme nach oben entflieht und der Brenner dann mit der blauen Flamme weiterbrennt. Mit den Löchern lässt sich also der Brenner regulieren, aber warum? Nicole: „Das Gas kann durch die Löcher weg, darum kann die Flamme [die blaue Flamme !] nicht richtig brennen.“ Lehrer: „Dann sollte man bei den Löchern das Gas anzünden können.“ Ich halte ein brennendes Streichholz zu einem Loch. Die Schüler entdecken, dass es die Flamme in das Loch hineinzieht, gleichzeitig färbt sich die Flamme oben gelb. Durch die Löcher geht also nichts hinaus, sondern es geht etwas hinein. Michel: „Im Zimmer hat es nur Luft, also muss Luft hinein.“ Lehrer: „Was passiert, wenn ich ein Glas über die Flamme stelle?“ Demian: „Sie erstickt.“ André: „Es kommt keine Luft mehr dazu.“ Lehrer: „Ja, die Flamme braucht Luft, damit sie brennen kann. Welche Flamme brennt also mehr?“ Suba: „Dort, wo das Loch offen ist.“ Lehrer: „Welche Flamme ist das?“ Gladys: „Die blaue Flamme.“ Demian: „Sie war auch heisser!“ Wir beobachten, dass die blaue Flamme über der ganzen Öffnung des Brenners brennt, während die gelbe Flamme nur aussen brennt, wo die Luft dazukommt und innen eine dunkle Zone hat, genau gleich wie die Kerzenflamme. André hat bereits entdeckt, dass ich ein langes Glasrohr (etwa 30 cm) mitgebracht habe. Er schlägt vor, es in die Flamme hineinzuhalten, damit Gas hindurchgeht und am Ende angezündet werden kann. Ich bin erstaunt, wie gut er beobachtet und kombiniert, ich habe das Glasrohr tatsächlich für dieses Experiment mitgebracht. Ich baue den Versuch auf, das Rohr geht in die Mitte der gelben Flamme hinein, dort wo das Gas noch nicht verbrannt ist. Mit etwas Geduld gelingt es, das Gas am Ende des Rohrs anzuzünden. Lehrer: „Warum brennt das Gas im Rohr nicht?“ Dani: „Weil es keine Luft hat.“ Ich zeige noch, dass die gelbe Brennerflamme innen kalt ist, indem ich ein Streichholz in die Flamme hineinhalte. Am Rand der Flamme wird das Holz schwarz, während der Kopf im Innern der Flamme unversehrt bleibt.

Der fünfte Nachmittag: Warum leuchtet die Kerzenflamme?

Zum letzten Mal sitze ich mit den Schülern und Schülerinnen im Kreis zusammen. Erwartungsvolle Gesichter: Was wird er heute noch fragen? Ich eröffne das Gespräch mit der Frage: „Wieso leuchtet die Flamme?“ Demian: „Wegen der Luft.“ Ja, mit der Luftzufuhr konnten wir letztes Mal die blaue und die gelbe Flamme erzeugen. Aber warum? Michel: „Wegen der Hitze.“ Lehrer: „Welche Flamme leuchtet: die heisse oder die kühlere?“ Michel: „Die kühlere.“ Lehrer: „Ist das nicht erstaunlich, man könnte doch erwarten, dass die heissere leuchtet?“ André: „Die Sonne leuchtet auch, und die ist auch heiss.“ Lehrer: „Eben!“ Michel: „Ein Eisenstab fängt beim Erhitzen an zu glühen.“ Lehrer, nach langer Pause: „Welchen Unterschied zwischen blauer und gelber Flamme haben wir noch festgestellt?“ André: „Die eine Flamme macht Russ.“ Michel: „Die Kerze macht auch Russ.“ Lehrer: „Heisst das, diejenigen Flammen, die leuchten, machen Russ?“ Demian: „Warum gibt es bei den Glühlampen keinen Russ?“ Lehrer: „Bei den Glühlampen gibt es ja auch kein Feuer. Aber kann das Leuchten einer Flamme mit dem Russ zusammenhängen?“ Die Schüler und Schülerinnen sind ratlos. Lehrer: „Schaut mal den Docht einer brennenden Kerze genau an. Ist er überall schwarz?“ Nicole: „Vorn ist er rot [die Spitze des Dochts glüht].“ André: „Unten ist der Docht weiss.“ Michel: „Unten brennt er ja auch nicht.“ Lehrer: „Was wollten wir herausfinden?“ André: „Warum es leuchtet.“ Lehrer: „Was haben wir bis jetzt erreicht?“ André: „Nichts.“ Michel: „Die Flamme russt.“ Sabine: „Der Docht leuchtet vorne.“ Demian: „Die Flamme leuchtet wegen der Glut.“ Um das deutlich zu machen, erhitze ich auf einem Blechdeckel etwas Russ. Als er heiss genug ist, verglüht er mit gelber Farbe. Die Vermutung, dass die Flamme leuchtet, weil der Russ glüht, scheint zu stimmen. Ich führe noch ein Experiment vor, welches die Vermutung eindrücklich bestätigt: In die blaue Flamme des Brenners blase ich Russ. In der Flamme leuchten viele gelbe Funken auf. Michel: „Warum gibt es Russ?“ Lehrer: „Das wissen wir noch nicht, und es ist ja auch eigenartig, dass aus der weissen Kerze der schwarze Russ entsteht. Aber wir haben ihn gesehen, und damit müssen wir uns im Moment begnügen.“ Man sieht, dass das Thema „Kerze“ noch lange nicht erschöpft ist. Mein Unterricht bei den Viertklässlern endet aber an dieser Stelle.

3.2.2. Das Lehrstück „Faradays Kerze“ im Unterricht mit Lehrerstudenten und -studentinnen

„Verstehen ist Menschenrecht“
Martin Wagenschein ¹⁵⁷

Der folgende Unterrichtsbericht stammt aus einem Kurs mit 9 Studierenden (7 Frauen, 2 Männer), die nach der Maturitätsprüfung in einer zweijährigen Ausbildung zu Volksschullehrern und -lehrerinnen (für alle Fächer) ausgebildet werden. Im Rahmen der Fachdidaktik Physik / Chemie habe ich im zweiten Ausbildungsjahr das Lehrstück „Faradays Kerze“ inszeniert.

Erste Doppelstunde: Mittwoch, 11. November 98:

Lehrer: „Wir wollen in den folgenden Wochen ein Thema mit der Methode des sokratischen Gesprächs erarbeiten. Ich werde das gemeinsame Gespräch leiten, aber ich versuche, möglichst wenig zu erklären. Das Vorwissen wird sehr unterschiedlich sein¹⁵⁸. Bringt alles, was ihr wisst, ins Gespräch ein, fragt nach, wenn ihr etwas nicht ganz verstanden habt, sagt spontan Eure Ideen, Vermutungen, auch wenn ihr unsicher seid.“ Dann verteile ich jedem Studenten und jeder Studentin ein Blatt Papier und bitte sie, die Flamme einer Kerze möglichst naturgetreu aus der Erinnerung zu zeichnen, Buntstifte liegen bereit. Silvia: „Soll man die Flamme gross zeichnen?“ Lehrer: „Ja. Wir wollen die Zeichnung an die Wandtafel hängen, und dann sollte man sie sehen können.“ Rita: „Nur die Flamme, oder auch die Kerze?“ Lehrer: „Es geht um die Flamme. Ihr dürft aber auch die Kerze zeichnen, nur sollte es nicht so sein, dass ihr euer ganzes Interesse einer schön geschmückten Kerze zuwendet.“ Die Studierenden zeichnen, nach 10 Minuten sind alle fertig und an der Wandtafel hängen die 9 Zeichnungen. Wie immer in solchen Sequenzen sind die Flammen sehr unterschiedlich.

Lehrer: „War es schwierig?“ Rebecca: „Ja. Flammen bewegen sich und haben dann ganz unterschiedliche Formen.“ Cuno: „Die Farben waren schwierig. Wir haben zuhause einen Gaskocher, der hat eine blaue Flamme. Deshalb bin ich von blau ausgegangen. Und dann habe ich einmal gehört, dass eine Flamme, die russt, rot ist. Deshalb habe ich rot aussen gezeichnet, also eher orange.“ Silvia: „Ich war zuerst in Versuchung, so eine Kinder-Tannenbaum-Flamme zu zeichnen, so einen gelben Tropf. Dann habe ich mich aber an blau erinnert. Und ich hatte so eine Erinnerung, dass zwischen Docht und Flamme eine Lücke ist, aber ich war mir gar nicht sicher.“ Lehrer: „Ja - wie muss man den Docht zeichnen? Ihr habt ihn alle in die Flamme hineingezeichnet. Stimmt das?“ Simone: „Ja, ich glaube das stimmt.“ Pause. Tanja: „Ich hatte auch mit den Farben Schwierigkeiten. Ich wusste nicht mehr, ob es wirklich gelb ist - oder vielleicht rötlich? In der Mitte habe ich blau gezeichnet, aber vielleicht ist es auch braun - es hat irgendwie gar keine rechte Farbe.“ Rebecca: „Ich glaube, man darf kein helles Gelb nehmen für das Licht einer Kerze, man muss etwas Braun oder Orange dazunehmen.“ Silvia: „Die Form darf nicht zu spitz gezeichnet werden.“ Rebecca und Rita stimmen zu. Sibylle: „Ich habe in der Mitte mehr blau, aussen gelb, aber es sollte ein Übergang sein. Aber ich

¹⁵⁷ Martin Wagenschein: Verstehen ist Menschenrecht; In M. Wagenschein: Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken, Band II; S. 175-179

¹⁵⁸ Der vorliegende Bericht zeigt, dass der gymnasiale Chemieunterricht erstaunlich wenig bewirkt hat! Ich denke, dass zuviel Wissen auswendig gelernt wurde, statt an einzelnen, grundlegenden Stellen wirklich um das Verstehen zu ringen. „Ich fürchte, mancher Lehrer wäre entsetzt, wenn er wüsste, wie vieles von dem, was er seinen Schülern alles exponiert, niemals entwickelt wird.“ Martin Wagenschein: Naturphänomene sehen und verstehen; S. 71

weiss nicht ob das stimmt.“ Rita: „Ich habe blau aussen gezeichnet, es berührt das Gelb innen nicht.“ Joy: „Ich war unsicher, ob die Flamme eine klare Form hat, oder ob sie einfach langsam dunkler wird, am Rand.“ Pause. Ich zünde nun eine Kerze an, im Zimmer ist es ziemlich dunkel. Tanja: „Oben ist sie gelb, weiter unten kommt dann die undefinierte Farbe, die ich nicht zeichnen konnte.“ Rebecca: „Der helle Teil der Flamme blendet uns, deshalb können wir den andern Teil schlecht erkennen.“ Sibylle: „Es hat einen Schein um die Flamme herum.“ Silvia: „Der innere Teil ist wirklich schwierig zu zeichnen, manchmal sehe ich etwas Rot, manchmal auch andere Farben.“ Rita: „Können wir einen andern Hintergrund nehmen?“ Ich halte zuerst ein weisses, dann ein schwarzes Papier hinter die Flamme. Wir kommen nicht weiter. Ich zeige noch ein weiteres Experiment: Ich halte eine dünne Stricknadel hinter die Flamme. Hinter dem leuchtenden Teil der Flamme ist sie nicht zu sehen, hinter dem dunklen, mittleren Teil der Flamme sieht man sie. Tanja: „Deshalb kann man die Farbe nicht beschreiben.“ Rebecca: „Hängt die Form der Flamme nicht auch vom Docht ab?“ Cuno: „Die Flamme ist unten blau, wie ein blauer Boden. Ich hatte blau in meiner Zeichnung innen.“ Joy: „Oben ist die Flamme wieder dunkler.“ Tanja: „Und ausgefranst.“ Wir kommen wieder nicht weiter. Deshalb frage ich: „Was brennt?“ Rebecca: „Es braucht einen Gegenstand, der brennt. Ich denke das ist der Docht.“ Jan: „Das Wachs brennt.“ Rebecca: „Ja, stimmt. Aber ich glaube, es ist beides. Sonst würde das Wachs um den Docht herum abbrennen.“ Tanja: „Wenn man den Docht abschneiden würde - also Wachs ohne Docht - ich glaube, das würde nicht brennen.“ Silvia: „Wir könnten versuchen, nur den Docht anzuzünden.“ Ich nehme ein Stück Docht. Tanja: „Hat es Wachs dran?“ Lehrer: „Nein. Es ist Docht, den man kaufen kann, um Kerzen zu ziehen.“ Jan: „Was ist Docht genau?“ Lehrer: „Es ist eine Baumwollschnur, die in einer Speziallösung getränkt wurde. Aber wir brauchen gar nichts über den Docht zu wissen. Wir wollen ja nur ausprobieren, ob er brennt.“ Ich zünde den Docht an, er flammt auf, aber die Flamme verlöscht schnell, und der Docht glimmt dann weiter. Jan: „Wenn er glimmt, kann er immer wieder das Wachs entzünden, er führt ja das Wachs zur Flamme.“ Lehrer: „Was haben wir aus dem Versuch gelernt?“ Jan: „Es braucht beides.“ Rebecca: „Der Docht verglühte ziemlich rasch. Bei der Kerze geht es länger. Das Wachs verhindert, dass der Docht schnell verglüht.“ Jan insistiert: „Es braucht beides. Wachs allein brennt ja nicht.“ Silvia: „Was mich erstaunt: Das Wachs schmilzt, aber es geht ja weg. Die Kerze wird immer kleiner, und das Wachs ist weg!“ Joy: „Der Docht aber auch.“ Rebecca: „Auch Wachs verbrennt.“ Rita: „Wenn wir Wasser kochen, geht das Wasser weg, und den Wasserdampf sieht man ja auch nicht.“ Lehrer: „Wasserdampf schlägt sich an einem kalten Gegenstand nieder. Heisst das, dass ich über der Flamme wieder Wachs auffangen kann?“ Silvia: „Es gibt Russ, von der Verbrennung. Wachs ist verbrannt.“ Lehrer: „Kann Wachs brennen oder nicht?“ Sibylle: „Wachs schmilzt.“ Joy: „Wird es dabei weniger?“ Rita: „Es wird auch schwarz.“ Ich halte ein Stück Wachs in die Flamme, es schmilzt und wird schwarz. Silvia: „Die Flamme ist grösser geworden, wenn das Wachs in der Flamme ist.“ Rita: „Und die Flamme ist röter geworden. Vielleicht weil es mehr Russ hat.“ Lehrer: „Die Frage war: Brennt Wachs?“ Einige miteinander: „Es schmilzt.“ Rebecca: „Aber am Schluss ist es ja verschwunden, es kann nicht sein, dass es nur schmilzt.“ Silvia: „Es ist weg.“ Jan: „Es braucht Sauerstoff. Ich besitze eine Petrollampe. Wenn ich den mit Petrol getränkten Docht länger mache, wird die Flamme grösser, weil mehr Sauerstoff dazu kann.“ Lehrer: „Was brennt bei deiner Lampe?“ Jan: „Es braucht beides, Petrol und Docht, denn beides wird weniger.“ Rita: „Und Sauerstoff braucht es auch noch.“ Jan: „Es brennt nichts ohne Sauerstoff.“ Cuno: „Ich bin noch bei der Petrollampe. Kann man das vergleichen? Petrol allein brennt ja.“ Jan: „Wachs muss zuerst flüssig werden, dann brennt es auch.“

Tanja: „Bist du sicher, dass es brennt?“ Jan: „In beiden Fällen wird etwas Flüssiges durch den Docht gesogen.“ Sybille: „Wenn man beim Kerzenziehen das Wachs ganz fest erhitzen würde, könnte da nichts passieren?“ Lehrer: „Du meinst, dass es dann brennen könnte?“ Sibylle: „Ja.“ Silvia: „Wir könnten ja Wachs ganz stark erhitzen und dann probieren, ob es brennt.“ Ich nehme ein Schälchen, gebe etwas Wachs hinein und erhitze mit dem Bunsenbrenner. Das Wachs schmilzt. Wenn ich ein brennendes Streichholz in das flüssige Wachs halte, löscht es aus. Ich erhitze weiter, bis ein weisser Dampf aufzusteigt. Ich zünde ihn an, er brennt. Rebecca: „Das Gas brennt.“ Simone: „Was ist das für ein Gas?“ Rita: „Eines, das aus dem Wachs und der Luft entsteht.“ Ich schlage vor, eine kurze Pause zu machen und frische Luft in das Zimmer zu lassen.

Lehrer: „Jan hat am Anfang gesagt, es braucht Wachs und Docht. Stimmt das?“ Jan: „Ja, das glaube ich immer noch.“ Silvia: „Nein, das hat doch im Schälchen herrlich gebrannt.“ Jan: „Im Schälchen war das Wachs in einer andern Form als bei der Kerze. Das Verhältnis von Wachsmenge und Hitze ist unterschiedlich.“ Lehrer: „Der Versuch beweist doch, dass Wachs allein brennen kann.“ Sibylle, zögernd: „Kann es sein, dass das Wachs flüssig wird und der Docht das aufsaugt, und dann, weil der Docht glimmt, wird durch die Hitze aus dem Aufgesogenen ein Gas gebildet und dann entsteht die Flamme?“ Silvia: „Es muss doch zuerst eine Flamme da sein, damit das Wachs schmilzt.“ Sibylle: „Wir zünden ja die Kerze am Anfang an, dabei entsteht unten ein kleiner See, und dann wird Wachs aufgesaugt.“ Jan: „Siehst du, es braucht beides.“ Tanja: „Für mich brennt Wachs nicht, es war eine andere Form, das Gas. Ich frage mich, ob das Gas nur verdampftes Wachs ist, oder etwas anderes.“ Lehrer: „Was anderes?“ Tanja: „Das weiss ich nicht, irgend eine Verbindung, mit Sauerstoff vielleicht.“ Die Frage: „Ist der weisse Dampf Wachs oder etwas“ anderes beschäftigt uns lange. Wachsdampf über dem Schälchen an einer Scheibe zu kondensieren gelingt nicht, es ist zu wenig. Es ist für mich eine unerwartete Schwierigkeit, dass die Studierenden hinter dem aufsteigenden Dampf mehr vermuten als gasförmiges Wachs.¹⁵⁹ Schliesslich einigen wir uns aber doch: Beim Erhitzen wird das Wachs gasförmig, und dieses Gas kann brennen. Lehrer: „Wo ist dieser weisse Wachsdampf bei der Kerze?“ Jan: „Man kann ihn nicht sehen, weil er schon verbrannt ist.“ Tanja: „Nur wenn man sie auslöscht, sieht man ihn.“ Ich blase eine brennende Kerze aus, und wir sehen den weissen Dampf vom Docht aufsteigen. Rita: „Wenn Wachsdampf brennt, müsste man nun diesen Dampf anzünden können.“ Ich zünde die Kerze wieder an, blase nach einer Weile aus und halte ein brennendes Streichholz in den weissen Dampf. Die Flamme springt auf den Docht zurück. Erstauntes „Oh!“, Rebecca: „Nochmals!“ Der Flammensprung ist ein eindrückliches und überraschendes Phänomen, ich zeige es gerne nochmals. Rita: „Der Docht ist noch so heiss, dass er noch eine Weile Wachs verdampfen kann.“ Silvia: „Mich überrascht, dass es am Anfang so schnell geht, wenn wir die Kerze anzünden.“ Rita: „Im Docht hat es so wenig Wachs, dass es sofort gasförmig wird.“ Lehrer: „Wo wäre der Dampf, wenn die Kerze brennt?“ Rita: „In der Flamme drin, beim Docht.“ Jan: „Es könnte sein, dass der durchsichtige Teil in der Flamme der Wachsdampf ist.“ Lehrer: „Wie könnte man das prüfen?“ Niemand hat eine Idee. Ich führe die Versuche mit den Glasröhrchen durch: Zuerst halte ich ein gerades Glasröhrchen mit dem unteren Ende mitten in die dunkle Zone, direkt über den Docht. Wir beobachten, wie der weisse Rauch auf-

¹⁵⁹ Streng genommen wird das Wachs durch das Erhitzen verändert, indem langkettige Moleküle in kürzere Moleküle zerlegt werden. Das meinen die Studierenden aber hier nicht, sie denken eher an eine Reaktion des Wachses.

steigt und oben aus dem Röhrchen ausströmt. Simone: „Jetzt anzünden.“ Zur grossen Freude gelingt es. Rebecca: „Warum brennt es nicht im Innern des Röhrchens?“ Rita: „Weil der Sauerstoff fehlt.“ Tanja: „Wenn man das Röhrchen weiter oben in die Flamme bringt, würde der Versuch nicht gelingen?“ Ich schiebe das Röhrchen etwas hinauf in die gelbe Zone der Flamme, nun kommt ein schwarzer Rauch heraus, der nicht brennt. Rita: „Dann ist es wirklich das dort unten.“ Ich führe nun den zweiten Versuch mit dem U-förmig gebogenen Glasrohr vor, das eine Ende ist wieder im Innern der Flamme, während das andere Ende in ein Glasgefäss führt. Lehrer: „Wir wollen den Wachsdampf im Glas sammeln.“ Silvia: „Dann können wir sehen, ob es wieder Wachs gibt!“ Wie üblich löst der Versuch grosse Begeisterung aus. „Es sieht aus wie Wolken.“ „Wie der Geist in der Flasche.“ Ich giesse den Wachsdampf über eine Flamme, er brennt. Joy: „Aber jetzt wissen wir gar nicht, ob der Dampf wieder fest wird.“ Ich nehme deshalb ein zweites Gefäss, fülle es zur Hälfte mit dem weissen Wachsdampf und verschliesse es mit einem Korken. Rebecca: „Wie heisst dieses Gas?“ Ich kläre die Begriffe Gas, Dampf, Nebel und Rauch. Hier haben wir eigentlich einen Nebel aus kleinsten Wachströpfchen. Sie setzen sich nun langsam ab, nächste Woche wird es eine dünne Wachsschicht am Boden haben.

Nach der Stunde habe ich eine längere Diskussion mit Jan. Er fragt: „Ist dieser Unterricht effizient?“ Wenn mit effizient gemeint ist, möglichst glatt viel Stoff durchzubringen, dann will ich in dieser Unterrichtsform gar nicht effizient sein, sondern ich will gründlich sein. Ich will verweilen können, statt schnell voranzukommen, ich will, dass die Studenten und Studentinnen Hindernisse, Stolpersteine bewältigen, statt dass ich sie als Lehrer alle aus dem Weg räume. Jan, der eine Lehre als Elektromechaniker gemacht hat, insistiert. Ich muss den Unterschied zwischen einer Berufslehre und dem Unterricht erklären: In der Berufslehre geht es darum, Leute für ihre spätere Tätigkeit auszubilden, etwa Laboranten, die mit den Geräten und Chemikalien umgehen lernen müssen, während es in der Schule um Bildung geht, um Verstehen. Wir wollen im Chemieunterricht nicht kleine Chemiker ausbilden, sondern einen Einblick in die Chemie geben, in die Art, wie Chemie sich mit der Natur auseinandersetzt, wir wollen an exemplarischen Stellen fachliche Einsichten gewinnen, diese mit unserer Lebenswelt in Beziehung setzen und damit sehen, was Chemie leistet. Ich glaube, Jan hat verstanden, was ich meine, denn er hat sich am nächsten Tag für die Diskussion bedankt.

Rückmeldungen zur ersten Doppelstunde:

Tanja: Die zwei Stunden haben mir gut gefallen, es war sehr spannend. Der Einstieg (Flamme zeichnen) war sehr gut, denn erst da bemerkte ich die Schwierigkeiten, und Fragen kamen auf.

Sibylle: Auch mir haben die beiden Stunden gefallen. Ausnahmsweise hatte ich keine Mühe, einem physikalischen / chemischen Thema zu folgen.

Zweite Doppelstunde: Mittwoch, 18. November

Lehrer: „Erinnert ihr euch an letzte Woche?“ Silvia: „Wir haben Wachsdampf in der Flasche gesammelt, wie eine Wolke.“ Lehrer: „Wieviel war es?“ Silvia: „Etwa 2 cm hoch.“ Ich zeige das Glasgefäss. Silvia: „Man sieht eine trübe Schicht am Boden.“ Rebecca: „Ich nehme an, dass das eine Wachsschicht ist.“ Ich zünde den Gasbrenner an und erhitze das Gefäss vorsichtig. Es bildet sich wieder der weisse Dampf. Simone: „Anzünden!“ Ich weiss, dass es nicht gelingen wird, folge aber trotzdem Simonas Vorschlag. Es flackert etwas, aber es gibt keine Flamme. Lehrer:

„Das ist zu wenig, das geht nicht.“ Rita: „Was ich nicht verstehe: Letztes Mal ist der Wachsdampf bei der Verbrennung entstanden, jetzt ist er nur durch die Wärme entstanden.“ Lehrer: „Was haben wir letztes Mal entdeckt?“ Jan: „Wir haben gesehen, warum eine Kerze brennt.“ Lehrer: „Ja, Sibylle hat das sehr gut formuliert, kannst Du das nochmals sagen?“ Sybille: „Wenn der Docht brennt, wird unten das Wachs geschmolzen und es entsteht ein kleiner See. Der Docht saugt dann das Wachs auf, durch die Hitze entsteht am Schluss Rauch ..“ Ich unterbreche: „Rita, siehst du: Durch die Hitze entsteht der Dampf. Sybille, jetzt kannst du weiterfahren.“ Sybille: „Dann gibt es den Rauch, und der Rauch ist brennbar.“ Lehrer: „Richtig. Alle einverstanden?“ Pause. Lehrer: „Wir haben also drei verschiedene Zustände des Wachses: fest, flüssig und gasförmig. Ich möchte zu diesen Aggregatzuständen noch zwei Dinge ergänzen. Das erste: Wie sieht Wachs im festen und im flüssigen Zustand aus?“ Ich erwärme im Reagenzglas ein Stück Wachs. Cuno: „Es wird durchsichtig.“ Rebecca: „Ist Wachs auch durchsichtig, wenn es farbig ist?“ Jan vermutet, dass es im flüssigen Zustand mehr Volumen braucht. Rebecca: „Weil im festen Zustand die Teilchen kompakter sind?“ Lehrer: „Du versuchst schon zu erklären, obschon wir noch gar nicht wissen, ob es stimmt.“ Mit einem Filzstift markiere ich den Stand des flüssigen Wachses, und nun wollen wir das Wachs erstarren lassen. Jan: „Ist es nicht so, dass eine Flüssigkeit mehr Platz braucht als etwas Festes?“ Lehrer: „Wisst ihr, wie es beim Wasser ist?“ Rita: „Da ist es gerade umgekehrt. Eis braucht mehr Platz als Wasser. Man merkt es, wenn man im Winter eine Blumenvase nach draussen stellt; sie springt.“ Lehrer: „Ja, das kennt man. Jan vermutet nun, dass es beim Wachs anders ist als beim Wasser.“ Jan: „Ja“ Lehrer: „Wir wollen das prüfen, wenn das Wachs erstarrt ist. Bis es soweit ist, können wir Rebeccas Frage klären. Weisst du noch, was du gefragt hast?“ Rebecca: „Ob farbiges Wachs auch durchsichtig ist.“ Wir erwärmen farbiges Wachs, die rote Farbe bleibt, aber die Flüssigkeit ist transparent. Joy: „Es wäre lustig, wenn rotes Wachs im flüssigen Zustand farblos wäre.“ Simone: „Nein, das wäre gar nicht lustig, dann würde man beim Kerzenziehen die Kerze aus dem Gefäß ziehen und dann würde sie weiss.“ Cuno: „Nein, das wäre umgekehrt: Man taucht sie in die farblose Flüssigkeit, und beim Abkühlen taucht die Farbe auf. Man würde dann überrascht.“ Solche heiteren Exkurse sind nötig - besonders im Unterricht von 16 bis 18 Uhr, wo die Konzentration etwas gefährdet ist. Ich lenke zurück zum Thema: „Es gibt nun beim Wasser noch eine zweite Besonderheit bezüglich des Volumens.“ Jan: „Das mit den 4 Grad.“ Lehrer: „Kannst du beschreiben, was du meinst?“ Jan: „Wasser kann nicht kälter werden als 4 Grad.“ Cuno: „Nein. Das Volumen ist am kleinsten bei 4 Grad.“ Rebecca: „Ich habe gelesen, dass der Gefrierpunkt an der Antarktis minus 2 Grad beträgt, weil es Salzwasser ist.“ Joy: „Hat das mit den 4 Grad nicht mit der Dichte zu tun?“ Ich zeichne das Diagramm Volumen / Temperatur an die Tafel und zeige, wie das Volumen von Wasser beim Abkühlen von 20 Grad an kleiner wird. Jan: „Ja, und bei 4 Grad kehrt es.“ Jetzt haben wir es. Silvia: „Eigenartig.“ Lehrer: „Ja, aber es hat eine wichtige Konsequenz für einen See: das viergrädige Wasser ist immer zuunterst.“ Jan: „Heisst das, dass das Wasser unter einer Eisschicht nicht kälter als vier Grad werden kann?“ Lehrer: „Nein, wenn es lange genügend kalt ist, kann ein kleiner See bis zum Grund zufrieren. Aber es ist so, dass das Wasser von 0 Grad oben ist und der See damit von oben zufriert. Und die Eisschicht isoliert dann recht gut, so dass es darunter immer langsamer friert.“ Inzwischen ist das Wachs erstarrt. Lehrer: „Was sieht man?“ Tanja: „Man sieht nicht viel.“ Ich gebe ihr das Reagenzglas in die Hand. Tanja, erstaunt: „Es hat ein Loch, es ist eingefallen.“ Ich zeige die erstaunliche Tiefe des Lochs mit einem dünnen Holzstäbchen. Ich gebe das Reagenzglas rund herum. Joy erklärt, wie das Loch entstanden ist: „Zuerst wird es am Rand fest. Und dann hat es in der Mitte immer

weniger Wachs.“ Silvia: „Ah, ja, ich erinnere mich: Wir wollten in der Schule einmal Kerzen giessen, und dann gab es in der Mitte immer einen grossen Krater.“¹⁶⁰ Stille, ich nehme das Gespräch wieder auf: „Ein Eiswürfel schwimmt, weil er eine kleinere Dichte hat als Wasser. Wie ist das beim Wachs?“ Rita: „Dann müsste es umgekehrt sein, dann müsste ein festes Stückchen Wachs in flüssigem Wachs sinken.“ Wir führen den Versuch durch und bestätigen diese Vermutung.

Lehrer: „Ich möchte nun ein neues Thema diskutieren: Die Temperatur in der Flamme. Die Flamme besteht ja gewissermassen aus zwei Teilen.“ Ich zünde eine Kerze an. Simone beobachtet und beschreibt: „Die Flamme war zuerst grösser, dann wurde sie klein. Weil vielleicht zuerst noch das Wachs verbrannt wurde, das noch im Docht war. Und dann muss zuerst unten wieder Wachs flüssig werden.“ Lehrer: „Sehr gut! Und wie ist es nun mit den zwei Teilen der Flamme, was wissen wir über den inneren Teil?“ Tanja: „Dort ist der Wachsdampf.“ Lehrer: „Und oben?“ Jan: „Russ.“ Lehrer: „Und was könnte man nun über die Temperatur vermuten?“ Jan: „Über der Flamme ist es am heissesten. In der Flamme ist es weniger heiss, dort kann man mit dem Finger durchfahren.“ Rebecca: „Das ist wie beim Grillieren, dort hält man auch das Fleisch über die Flamme.“ Lehrer: „Man hält das Fleisch nicht in die Flamme hinein, damit es nicht verkohlt.“ Zum Beweis halte ich ein Holzstäbchen über die Flamme, es dauert ziemlich lange, bis es zu brennen beginnt. Dann halte ich das Hölzchen in die gelbe Zone der Flamme, es wird rasch schwarz und brennt. Schliesslich halte ich das Hölzchen unten in die Flamme, direkt über dem Docht. Es bilden sich zwei schwarze Stellen, in der Mitte ist das Hölzchen noch nicht angebrannt. Rebecca: „Nur aussen, wo die Flamme ist, ist es schwarz, innen, wo der Wachsdampf ist, ist es nicht schwarz geworden.“ Lehrer: „Verstehst du das?“ Rebecca: „Ja, der Wachsdampf brennt ja noch nicht.“ Ich zeige dasselbe noch mit einem Papier, der braune Ring ist eindrücklich. Dann halte ich eine Glasscheibe in die Flamme, es gibt aussen einen schwarzen Ring vom Russ, in der Mitte bildet sich nach einiger Zeit ein gelblich-brauner Tropfen aus Wachs.

Nach der Pause beginne ich mit einem Experiment: Ich halte ein Gitter in die Flamme, die Flamme kommt nicht durch das Gitter hindurch, dafür sieht man den Wachsdampf aufsteigen. Wir zünden ihn an und staunen über die in der Luft tanzende, kleine Flamme. Die Studenten und Studentinnen wollen diesen Versuch selber ausprobieren. Nach einigem Üben gelingt es ihnen schliesslich, die Flamme tanzen zu lassen.

Dann begeben wir uns nach draussen, wo ich den Studenten und Studentinnen zwei Versuche zum Löschen von Feuer zeige. Als erstes habe ich in die Bodenwölbung einer auf dem Kopf stehenden Cola-Dose etwas Benzin geschüttet und angezündet. Ich spritze nun mit einem Wasserstrahl auf das Feuer. Als Ergebnis fliesst die brennende Flüssigkeit den Wänden der Dose entlang nach unten und brennt auf dem Boden weiter. Wir haben das Feuer also nicht gelöscht, sondern nur verteilt! Erklärung: Benzin ist leichter als Wasser. Es schwimmt und schliesslich läuft das Schälchen über.

Den Beginn des zweiten Versuchs kennen wir schon: In einer kleinen Porzellanschale schmelze ich mit dem Bunsenbrenner Wachs. Es entsteht Wachsdampf, den ich anzünde. Im Unterricht habe ich dieses Feuer mit einem Deckel erstickt. Hier will ich nun versuchen, das Feuer mit Wasser zu löschen. Ich habe, um mich zu

¹⁶⁰ Diese Beobachtung hat Silvia damals erstaunt, und nun taucht sie aus der Erinnerung wieder auf und kann in Verbindung gebracht werden mit dem, was wir im Unterricht erarbeiten. Ich denke, dass das Erkennen solcher Zusammenhänge viel dazu beiträgt, dass das im Unterricht Gelernte besser im Gedächtnis bleibt.

schützen, ein Reagenzglas an einer Holzlatte befestigt, so dass ich genügend Abstand habe, wenn ich nun aus dem Reagenzglas Wasser in das Feuer schütte: Es entsteht eine hohe Stichflamme. Erklärung: Das brennende Wachs ist sehr heiss (ca. 400 Grad). Dadurch verdampft das Wasser sofort und reisst kleine Wachs-tröpfchen mit sich in die Höhe, die brennen. Aus diesem Versuch kann man etwas Wichtiges für die Küche lernen: Brennendes Öl darf nicht mit Wasser gelöscht werden!

Rückmeldungen zur zweiten Doppelstunde:

Sibylle: In diesen beiden Stunden fühlte ich mich viel weniger wohl. Irgendwie fand ich nicht den roten Faden, den ich beim letzten Mal so geschätzt hatte.

Joy: Die zwei Stunden waren zerhackter als die ersten „Kerzen-Stunden“. Die Spannung in der Gruppe war geringer.

Dritter Nachmittag: Mittwoch, 25. November

Zwei Gasbrenner stehen auf dem Tisch. Ich zünde sie an, der eine brennt mit einer blauen Flamme, der andere mit einer gelben. Rebecca: „Ist dasselbe Gas drin?“ Rita: „Kann man mehr aufdrehen?“ Lehrer: „Bei welchem?“ Die Studierenden sind sich nicht einig. Ich probiere aus, es hilft nichts, die Flammen verändern ihre Farbe nicht. Cuno: „Es hat ein Loch im Rohr, das beim einen Brenner offen und beim anderen zu ist.“ Ich halte das Loch beim Brenner mit der blauen Flamme zu, die Flamme wird gelb. Lehrer: „Warum hat es ein Loch?“ Rebecca: „Luftzufuhr.“ Silvia: „Die blaue Flamme ist heisser.“ Lehrer: „Alle einverstanden?“ Die Studierenden nicken. Lehrer: „Wie kann man das beweisen?“ Rita: „Wenn etwas schneller glühen würde.“ Rebecca: „Wir müssen die Temperatur messen.“ Lehrer: „Wir dürfen natürlich nicht ein gewöhnliches Thermometer in die Flamme halten, man würde schon einen speziellen Temperaturfühler brauchen. Aber es geht einfacher, so wie Rita vorgeschlagen hat.“ Ich halte einen dünnen Glasstab in die Flamme, zuerst in die gelbe: Er wird schwarz. Simone: „Russig“ Dann halten wir ihn in die andere Flamme. Rebecca: „Der Russ verbrennt.“ Jan: „Und nun biegt es sich.“ Rita: „Es schmilzt, es ist eben doch heisser.“ Lehrer: „Ja. Und warum ist das so?“ Rebecca: „Es kommt mehr Sauerstoff zur Flamme.“ Lehrer: „Warum entsteht dann eine andere Flamme?“ Rebecca: „Also, wenn das Loch zu ist, dann kommt oben das unverdünnte Gas heraus und verbrennt. Und bei der Verbrennung entsteht Russ. Aber mit Luft - das weiss ich nicht.“ Jan: „Das Gas vermischt sich mit Sauerstoff, so kann das Gas besser verbrennen.“ Rebecca: „Bei der gelben Flamme ist es wie bei der Kerze: der Sauerstoff kommt von aussen, und es brennt nur aussen.“ Ich zünde den Brenner mit der gelben Flamme an und halte dann ein Holzstäbchen in die Flamme: Nur aussen brennt es und wird schwarz. Ich kann sogar ein unverbrauchtes Streichholz in die Flamme hineinhalten: Aussen wird das Holz schwarz, während der leicht entzündbare Kopf des Streichholzes unversehrt bleibt. Die Studierenden erinnern sich: Auch bei der Kerze war es innen in der Flamme weniger heiss. Simone: „Und wenn das Loch beim Brenner offen ist, kommt auch in der Mitte Sauerstoff dazu, deshalb brennt es auch innen.“ Rebecca: „Ich verstehe folgendes nicht: Dort, wo sich Sauerstoff und Gas vermischen und die Flamme brennt, dort ist es gelb. Warum ist denn beim andern Brenner kein Gelb?“ Ratlosigkeit - ja, diese Frage ist schwierig. Silvia: „Hat das Gas auch eine Farbe?“ Ich lasse Gas aus dem Brenner ausströmen, es ist farblos. Ich halte dann den Brenner verkehrt herum und öffne wieder das Ventil, nun spritzt eine farblose Flüssigkeit in ein Reagenzglas, und das Reagenzglas wird ganz kalt. Rita: „Im Gasbehälter hat es ja eine Flüssigkeit, man hört es, wenn man ihn schüttelt. Wenn man ihn aufrecht

hält, ist die Flüssigkeit unten und oben strömt das Gas hinaus. Wenn man ihn umdreht, ist unten die Flüssigkeit und sie spritzt hinaus.“ Das leuchtet den andern ein. Lehrer: „Im Behälter ist Butan. Butan ist bei Zimmertemperatur ein Gas. Warum ist es in dem Behälter flüssig?“ Joy: „Im Behälter ist das Butan sehr kompakt, dann wird es flüssig.“ Lehrer: „Richtig, unter hohem Druck kann Butan auch bei Zimmertemperatur flüssig sein.“ Rita: „Ich kann mir aber nicht vorstellen, wie man das Butangas in dieses Gefäß hineindrücken kann, damit es flüssig wird.“ Lehrer: „Das macht man natürlich auch nicht so. Man kann es abkühlen, bis es flüssig ist, und dann abfüllen.“ Jan: „Warum wird es kalt, wenn es hinausspritzt?“ Lehrer: „Das flüssige Butan beginnt im Reagenzglas sofort zu verdampfen. Dazu benötigt es Energie, die es dem Glas entzieht.“ Wir haben etwas über den Brenner gelernt¹⁶¹, aber die Frage, warum es eine leuchtend gelbe und eine blaue Flamme gibt, ist nicht beantwortet. Rita: „Also bei der gelben Flamme hat es Russ.“ Tanja: „Kann der Russ etwas mit dem Leuchten zu tun haben?“ Wir kommen nicht recht weiter. Die gelbe Flamme ist ganz unten auch blau. Ich muss helfen¹⁶²: „Der Russ, den wir in der gelben Flamme gefunden haben, glüht. In der blauen Flamme verbrennt das Gas vollständig, es entsteht gar kein Russ. Wenn ich der Kerzenflamme mehr Sauerstoff gebe, kann der Wachsdampf besser verbrennen, und die Flamme wird blau.“ Mit einem Blasrohr blase ich Luft in eine Kerzenflamme. Es entsteht eine heisse, spitze blaue Flamme. Warum die Flamme leuchtet, haben die Studierenden noch nicht verstanden. Bevor wir weiterfahren, machen wir aber nun 10 Minuten Pause.

Silvia: „Was ist eigentlich Russ?“ Rebecca: „Vielleicht Verbrennungsabfall. Wenn man Holz verbrennt, bleibt auch Asche zurück, als Abfall.“ Joy: „Ja, aber was ist das genau, als Stoff?“ Jan: „Kohlenstoffgemische¹⁶³ können brennen. Russ könnte dann verbrannter Kohlenstoff sein.“ Rebecca: „Wenn man Holz verbrennt, bleibt Asche zurück, aber viel weniger als Holz da war. Was ist es denn, was zurückbleibt und nicht verbrennt? Warum ist nicht alles weg?“ Silvia: „Russ kann sich auch im Kamin ablagern. Wir mussten einmal den Kamin ausbrennen lassen.“ Lehrer: „Das würde heissen: Russ brennt?“ Rita: „Vielleicht ist die gelbe Flamme zu wenig heiss, dass der Russ verbrennen kann. Die blaue, heisse Flamme kann ja den Russ verbrennen, das haben wir gesehen.“ Silvia: „Besteht Russ aus ganz kleinen Teilchen, fest?“ Lehrer: „Ja.“ Das Gespräch stockt. Lehrer: „Was wollen wir eigentlich wissen?“ Joy: „Wir wollen wissen, was leuchtet.“ Lehrer: „Rita hat gesagt, der Russ wäre die Ursache. Können wir diese Behauptung verstehen?“ Joy: „Vielleicht - wenn der Russ in der Flamme ist, ist er heiss. Und wenn er sich auf dem Glasstab absetzt, ist er kalt.“ Lehrer: „Das ist eine interessante Idee. Wie stellst du dir den Unterschied zwischen heissem und kaltem Russ vor?“ Joy: „Wenn er kalt ist, auf dem Glasstab, dann ist er schwarz. Und in der Flamme ist er vielleicht gelb.“ Ich halte ein schwarzes, verbranntes Hölzchen in die blaue Flamme, es beginnt zu glühen und leuchtet orange. Rita: „Dann stimmt es ja!“ Lehrer: „Was stimmt?“ Rita: „Dass der Russ die gelbe Flamme macht.“ Lehrer: „Ja, weil er in der Flamme verglüht. Wir können das auch zeigen, wenn wir Russ in die blaue Flamme blasen.“ Ich führe das Experiment vor. Mehrere Studierende: „Oh!“ Lehrer: „Warum leuchtet die Flamme?“ Joy: „Russ glüht.“ Rebecca: „Von wo kommt der Russ?“ Lehrer: „Ja,

¹⁶¹ Weil dieses Thema nicht direkt mit unserer Frage zu tun hatte, habe ich in dieser Phase des Unterrichts mehr erklärt.

¹⁶² Schon wieder bin ich am Erklären. Dass das Gespräch hier nicht weiterführte, liegt zum einen daran, dass diese Überlegung wirklich schwierig ist, zum andern auch daran, dass die Studierenden vom langen Tag ermüdet waren; der Unterricht fand immer von 16-18 Uhr statt.

¹⁶³ Er meint Kohlenstoffverbindungen.

das wissen wir allerdings noch nicht. Aber wir haben gesehen, dass es ihn in der gelben Flamme gibt und dass die Russteilchen die blaue Flamme gelb färben. Die Antwort auf Rebeccas Frage heisst: Wenn das Gas vollständig verbrennt, weil wir genügend Sauerstoff zuführen, dann entsteht kein Russ. Wenn wir zu wenig Sauerstoff haben, ist die Verbrennung unvollständig, und es bleibt Russ übrig.“ Silvia: „Was merkwürdig ist: Aus Gas, das nicht vollständig verbrennt, entstehen feste Teilchen.“ Lehrer: „Ja, das ist merkwürdig. Und: Woher kommt der Russ bei der Kerzenflamme?“ Rebecca: „Aus dem Wachsdampf, der nicht vollständig verbrennt.“ Lehrer: „Richtig, aber das ist ja auch nicht leicht verständlich: Wachs ist weiss, Russ ist schwarz.“

Ich beleuchte nun die Kerzenflamme mit einem Diaprojektor. Wir schauen uns das Schattenbild genau an: Eine kleine dunkle Flamme, aussen herum eine graue Zone, durch eine scharfe weisse Linie abgetrennt, im Innern der schwarzen Zone eine ganz kleine weisse Zone. Rebecca: „Oben sieht es aus wie im Sommer auf der Strasse.“ Rita: „Das ist die heisse Luft.“ Lehrer: „Ja, sie steigt auf und bildet die Schlieren.“ Rebecca: „Der dunkle Schatten könnte der Russ in der Flamme sein.“ Mit einer dünnen Nadel berühre ich die Spitze der gelben Flamme. In der Projektion berührt die Nadel die Spitze des schwarzen Schattens. Rebecca hatte also recht: Der Schatten wird durch die leuchtende Flamme geworfen, durch den Russ in der Flamme. Und der innere Teil der Flamme, von dem wir in der ersten Stunde gesagt hatten, dass sich seine Farbe nicht richtig beschreiben lässt, und später erkannt haben, dass sich dort der Wachsdampf befindet, der ist durchsichtig und bildet in der Projektion den kleinen hellen Teil zuinnerst. Wenn wir die Flamme ausblasen, wirft der aufsteigende Wachsdampf einen dunkelgrauen Schatten. Widerspruch zur Durchsichtigkeit im Flammeninnern? Nein: Im Innern der Flamme ist es ein Gas und damit durchsichtig, beim Ausblasen entsteht aus dem Gas sofort ein Nebel - kleinste Wachströpfchen -, der einen Schatten wirft!

Wir haben gesehen, dass die warme Luft aufsteigt. Daher muss unten immer neue Luft hinzuströmen, und diese Luft kühlt den Rand der Kerze, so dass der Wachssee nicht ausfliesst. Rebecca: „Wenn die Kerze zu dick ist, gibt es einen zu grossen Rand?“ Lehrer: „Richtig, und wenn sich die Flamme zu sehr in die Kerze hinuntergefressen hat, kann der Sauerstoff nicht mehr gut zur Flamme gelangen, und die Kerze kann nicht mehr richtig brennen.“

Rebecca: „Darf ich noch eine Frage stellen, die vielleicht nicht ganz physikalisch ist. Es gibt doch die Kerzen auf dem Geburtstagskuchen, die man nicht ausblasen kann. Wie funktionieren die?“ Ich habe solche Kerzen bei meinem Material dabei und zünde eine an. Ich lasse sie eine Weile brennen. Gelegentlich sieht man ein glitzerndes, weisses Fünkchen aufleuchten. Ich blase die Kerze aus, und nach kurzem zündet ein Fünkchen die Flamme wieder an. Die Erklärung lautet: Im Docht hat es Magnesiumspäne, die beim Verbrennen hell aufleuchten. Wenn nun die Flamme ausgelöscht ist und der Docht noch etwas weiterglüht, kann ein solches Magnesiumteilchen die Flamme wieder in Gang setzen. Also lässt sich auch dieses Kerzenphänomen chemisch erklären. Ich benutze die Situation, um den Studierenden zu zeigen, wie Magnesium brennt: Ein kleiner Streifen, der in einer Flamme entzündet wird, brennt mit gleissend heller Flamme ab und zurück bleibt ein weisses Pulver. Jan erinnert sich an seine Lehrzeit: „Beim Drehen von Magnesium musste immer jemand mit dem Feuerlöscher bereitstehen, weil die Gefahr bestand, dass das Metall durch die Erhitzung in Brand geraten könnte.“ Ich blase dann Magnesiumspäne in die Flamme: Sie leuchten als Feuerwerk von glitzernden Sternchen auf. Mit dieser schönen Demonstration beenden wir die heutige Doppelstunde.

Rückmeldungen zur dritten Doppelstunde:

Silvia: Diesmal hat mich der Inhalt der zwei Lektionen wieder sehr interessiert. Ich konnte gut folgen und habe viel behalten.

Joy: Zwei Stunden lang sokratisches Gespräch sind anstrengend!

Rebecca: Ich finde es jedesmal am spannendsten, die Versuche zu beobachten.

Vierte Doppelstunde: Mittwoch, 2. Dezember

Nachdem der erste Teil - der Prolog (Zeichnen der Flamme aus dem Gedächtnis) und die Akte 1 (Was brennt: Wachs oder Docht?) und 2 (Warum leuchtet die Kerzenflamme?) - abgeschlossen sind, machen wir an diesem Nachmittag einen Zwischenhalt. In der ersten Stunde stelle ich den Studierenden Faraday vor und erzähle von seiner Vorlesung, die die Quelle unseres Lehrstücks ist. Dann berichte ich vom Unterricht in der vierten Klasse. Ich zeige dazu auch Dias und lese einzelne Stellen aus dem Unterrichtsbericht vor.

In der zweiten Stunde wechseln wir auf die didaktische Ebene. Ich erkläre Wagenscheins Begriffe „genetisch - sokratisch - exemplarisch“ und interpretiere sie am Kerzen-Unterricht. Ein besonderes Gewicht lege ich auf die Diskussion des sokratischen Gesprächs: Wie haben die Studierenden diese Gespräche erlebt? Haben wir die Regeln von Wagenschein eingehalten? Haben wir das Ziel („Verstehen“) erreicht? Ich erzähle die Bergsteiger-Metapher und erläutere sie an Situationen aus unserem Unterricht, die ich aus den Tonbandprotokollen ausgewählt hatte.

Mittwoch, 9. Dezember: Der Unterricht fällt wegen der Mathematikprüfung aus. Als Kompensation kann ich in der nachfolgenden Woche 3 statt nur 2 Stunden unterrichten.

Fünfter Nachmittag: Mittwoch, 16. Dezember, drei Stunden

Lehrer: „Wenn die Kerze lange brennt, ist sie schliesslich weg. Wohin?“ Simone (lacht) „Bei mir ist oft noch die Hälfte auf dem Tisch.“ Lehrer: „Und wo ist die andere Hälfte?“ Rebecca: „Sie ist verbrannt.“ Rita: „Ihre Überreste sind in der Luft, der Russ zum Beispiel.“ Rebecca: „Die Kerze wandelt sich doch in Wärme und Licht um.“¹⁶⁴ Lehrer: „Was sagen die anderen?“ Rebecca: „Ist es nicht ein chemisches Gesetz, dass die Energie am Anfang gleich ist wie nachher, dass bei einer chemischen Gleichung auf beiden Seiten immer noch das gleiche ist.“ Jan: „Energie kann nur umgewandelt werden in eine andere Form.“ Silvia: „Sie kann nicht verloren gehen.“ Lehrer: „Was wird hier umgewandelt?“ Silvia: „Das Wachs.“ Rita: „Die Verbindung des Wachses muss irgendwie Energie enthalten.“ Lehrer: „Wie würdest du diese Energieform bezeichnen?“ Ratlosigkeit, ich helfe: „Chemische Energie.“ Rita: „Aha.“ Lehrer: „Und diese chemische Energie wird dann in Wärme und Licht umgewandelt. Aber wir müssen nun unterscheiden zwischen Energie und Stoff. Wir müssen versuchen, eine Reaktionsgleichung zu formulieren.“ Joy: „Was ist die Zusammensetzung von Wachs?“ Lehrer: „Versuch doch, die Gleichung einfach mit Wachs zu formulieren“ Joy: „Also: Wachs und Sauerstoff - und jetzt wandelt sich das um in Russ und ...“ Jan: „Und CO₂“ Lehrer: „Ja, wir kommen der Sache langsam auf die Spur. Lavoisier hat herausgefunden, dass bei einer chemischen Reaktion die Masse erhalten bleibt. Die Stoffe werden umgewandelt, es geht aber nichts verloren.“ Joy: „Aber es geht ja eigentlich schon verloren, im Raum. CO₂ ist

¹⁶⁴ vgl. Fussnote 156!

ja nacher weg.“ Lehrer: „Ja, das war die Entdeckung von Lavoisier: Man muss die Reaktion in einem geschlossenen Gefäss durchführen.“ Silvia: „Es geht ja auch Russ weg.“ Lehrer: „Wo ist der Russ?“ Rita: „Der ist in der Flamme, dort wo es glüht.“ Joy: „In der Flamme verglüht er.“ Rebecca: „Aber manchmal wird doch auch die Decke schwarz, vom Russ.“ Cuno: „Vielleicht, wenn die Kerze nicht gut brennt. Wenn sie flackert, sieht man manchmal etwas schwarzen Rauch.“ Rita: „Stimmt.“ - Pause - Silvia: „Also, die gelbe Flamme leuchtet doch, weil es Russ hat in der Flamme.“ Lehrer: „Ja, und die Russteilchen glühen und verbrennen.“ Jan: „Und bei der blauen Flamme, beim Gasbrenner, verbrennen sie schon vorher.“ Lehrer: „Nein, dort entstehen gar keine Russteilchen. Dort wird das Gas vollständig verbrannt.“ Rita: „Weil es genügend Sauerstoff hat.“ Lehrer: „Richtig. - Was ist Russ?“ Rita: „Kohlenstoff, vom Wachs, das nicht vollständig verbrennt.“ Simone: „Und dieser Kohlenstoff verbindet sich dann mit dem Sauerstoff. Deshalb gibt es über der Flamme keinen Russ mehr.“ Sibylle: „Es entsteht Kohlendioxid“. Lehrer: „Richtig. Joy, kannst Du sagen, was wir jetzt über die Reaktion wissen?“ Joy: „Wir haben auf der einen Seite Wachs, in dem Kohlenstoff drin sein muss - also: Wachs und Sauerstoff gibt Kohlendioxid ...“ Silvia: „Ist CO₂ Russ?“ Lehrer: „Nein, CO₂ entsteht aus Russ.“ Joy: „Ist Russ einfach C?“ Lehrer: „Ja. Und Joy hat gesagt, dass C aus dem Wachs kommen muss. Wachs ist eine Verbindung, die Kohlenstoff enthält. Unsere nächste Frage lautet nun: Mit wem ist der Kohlenstoff im Wachs verbunden?“ Ratlosigkeit. Rebecca: „Wachs ist Paraffin.“ Richtig, aber das hilft uns nicht weiter, weil wir nicht wissen, was Paraffin ist. Ich führe deshalb einen Versuch vor: Ich stelle ein Glasgefäss über die brennende Kerze. Man sieht, wie das Glas sich beschlägt, dann löscht die Flamme aus. Lehrer: „Seht ihr, wie sich das Glas beschlagen hat?“ Jan: „Das könnte Wasser sein.“ Silvia: „H₂O“ Rebecca: „Dann ist Wasser ein Bestandteil von Wachs? oder Wasserstoff?“ Lehrer: „Wasserstoff ist richtig. Der Sauerstoff kommt aus der Luft. Wachs ist also eine Verbindung von Kohlenstoff und Wasserstoff, ein Kohlenwasserstoff. Und dann entsteht Wasser bei der Verbrennung. Erstaunlich, nicht! Bei der Verbrennung entsteht Wasser. Wie lautet nun unsere Reaktionsgleichung?“ Joy: „Kohlenwasserstoff und Sauerstoff wandelt sich um in Kohlendioxid und Wasser.“

Ich zeige nun, wie man CO₂ und H₂O in grösseren Mengen gewinnen kann, indem wir die Verbrennungsgase durch eine Kühlfalle durchsaugen und dort das Wasser kondensieren und dann in einer Waschflasche mit Calciumlauge das CO₂ ausfällen. Simone erinnert sich noch, dass die weisse Trübung der Calciumlauge Kalk ist. Auf diese Nachweisreaktion¹⁶⁵ gehe ich aber nicht näher ein, auch verzichte ich darauf, zu beweisen, dass die Flüssigkeit wirklich Wasser ist.¹⁶⁶ Dann entwickeln wir an der Tafel die Reaktionsgleichung. Die Gleichung in Worten haben wir gemeinsam erarbeitet: Wachs plus Sauerstoff wandelt sich um in Kohlendioxid und Wasser. Die stöchiometrisch richtige Gleichung entwickle ich an der Tafel¹⁶⁷. Man kann nun auch die Mengen ausrechnen. Erfahrungsgemäss fallen solche Berechnungen den Studierenden schwer. Ich zeige deshalb nur das Ergebnis: Bei der Verbrennung von 1 Gramm Paraffin entstehen 1,3 Gramm Wasser!

¹⁶⁵ $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

¹⁶⁶ Mit Cobaltchlorid-getränkten Papierstreifen oder mit getrocknetem Kupfersulfat

¹⁶⁷ z.Bsp. $\text{C}_{20}\text{H}_{42} + 30,5 \text{ O}_2 \rightarrow 21 \text{ H}_2\text{O} + 20 \text{ CO}_2$. Die Formel für Paraffin ist nicht ganz richtig, weil Paraffin ein Gemisch verschiedener Kohlenwasserstoffe ist und damit nicht mit einer einheitlichen Formel dargestellt werden kann.

Paraffin gewinnt man aus dem Erdöl. Wie entsteht Erdöl? Aus Pflanzen und Tieren (Plankton) unter Luftabschluss. Wir kommen damit zum Kreislauf¹⁶⁸, den ich mit einer Wandtafelzeichnung erarbeite. Wir machen dann 15 Minuten Pause.

Als die Studierenden nach der Pause wieder bereit sind, lösche ich das Licht. Es ist vollkommen finster im Zimmer. Ich beginne nun zu erzählen:

„Vor langer Zeit lebte in einem fernen Land ein König. Er hatte eine sehr hübsche Tochter, um deren Hand zwei Prinzen anhielten. Der König überlegte, welchem Prinzen er seine Tochter zur Frau geben wollte. Eines Tages liess er die zwei Prinzen zu sich in den grossen Saal des Schlosses rufen. Er sagte: „Ich gebe jedem von euch 5 Silberstücke. Demjenigen, dem es gelingt, bis zum Abend damit etwas zu kaufen, das diesen grossen Saal ganz auffüllt, der soll meine Tochter zur Frau bekommen.“ Die beiden Prinzen zogen los. Der erste traf auf seiner Suche Bauern, die gerade Bohnen ernteten. Der Prinz sah das Bohnenstroh, das sie zu grossen Haufen aufschichteten, und er dachte, dass all diese Haufen den grossen Saal wohl füllen könnten. Er sagte zu den Bauern: „Wenn ihr mir das Bohnenstroh mit euren Wagen ins Schloss führt, bezahle ich euch 5 Silberstücke.“ Das liessen sich die Bauern natürlich nicht zweimal sagen. Sie beluden ihre Wagen, fuhren ins Schloss, trugen das Bohnenstroh in den Königssaal, fuhren wieder aufs Feld und kamen nochmals mit gefüllten Wagen zurück zum Schloss. Gegen Abend war der Saal bis fast zur Decke mit Bohnenstroh gefüllt, und der Prinz sagte zum König: „Ich habe deine Aufgabe fast gelöst und vom andern Prinzen ist noch nichts zu sehen. Du solltest mir deine Tochter zur Frau geben.“ Da kam der andere Prinz aufs Schloss. Er befahl, das Bohnenstroh aus dem Saal zu räumen. Der erste Prinz sagte: „Was hast du denn mitgebracht. Ich sehe nichts, mit dem du den Saal füllen könntest.“ Der zweite Prinz aber wartete geduldig, bis die Knechte alles Bohnenstroh aus dem Saal entfernt hatten. Es war inzwischen schon spät am Abend und ganz finster. Da schritt der zweite Prinz in die Mitte des Saales, nahm eine Kerze aus seiner Tasche und zündete sie an.“ Bis hier hatte ich das Märchen in völliger Dunkelheit erzählt. Nun zündete ich eine Kerze an und erzählte den Schluss: „Der Prinz sagte: Diese Kerze habe ich für ein Silberstück erworben, und ihr Licht füllt den ganzen Saal.“ Da sagte der König: „Du hast es verdient, meine Tochter zu heiraten, denn ich sehe, dass du klug bist und dass ich dir später auch mein Land anvertrauen kann.“

Es bleibt ganz still im Zimmer. Ich warte eine Weile, dann beginne ich, die Grundzüge der Lehrkunst darzustellen und die Begriffe „Exemplarisch: genetisch - dramaturgisch“ am Beispiel der Kerze zu verdeutlichen. Ich nehme auch Bezug auf den bernischen Lehrplan für die Volksschule, bei dem die Fächer Physik, Chemie, Biologie, Geschichte, Geographie, Religion/Lebenskunde und Hauswirtschaft zu einem grossen Komplex mit dem Namen „Natur - Mensch - Mitwelt“, kurz NMM, zusammengefasst werden. Das Ziel ist, dass nicht einzelne Fächer getrennt unterrichtet, sondern Themen fächerübergreifend behandelt werden. Ich zeige den Studenten und Studentinnen, dass die Kerze sehr gut in den Lehrplan passt¹⁶⁹. Ich schliesse den Kurs mit dem Gedicht von Nietzsche ab¹⁷⁰:

¹⁶⁸ siehe Seite 119

¹⁶⁹ siehe Kapitel 5.1

¹⁷⁰ Friedrich Nietzsche: Werke in vier Bänden, S.203

Ecce homo

Ja! Ich weiss, woher ich stamme!
 Ungesättigt gleich der Flamme
 Glühe und verzehr ich mich.
 Licht wird alles, was ich fasse,
 Kohle alles, was ich lasse:
 Flamme bin ich sicherlich.

3.2.3. Überblick über meine Inszenierungen

Die nachfolgende Tabelle zeigt den Ablauf meiner Inszenierungen des Kerzenlehrstücks (Stunden, die nebeneinander angeordnet sind, bedeuten Doppelstunden).

1.) Unterricht in einer 4.Klasse der Volksschule, siehe Unterrichtsbericht Kapitel 3.2.1., 5 Wochen mit je einem Nachmittag (Doppelstunde), 1992/93. Auf dieser Stufe habe ich nur die Ouvertüre und die ersten zwei Akte durchgeführt.

2.) Unterricht am Lehrerseminar, 10.Klasse: Von 1992 bis 1997 habe ich das Lehrstück fünfmal inszeniert. Als typischen Verlauf habe ich die Inszenierung von 1994 dargestellt: Overtüre und Akte 1 und 2 haben jeweils das erste Quartal von sechs Wochen mit zwei Unterrichtsstunden ausgefüllt. Anschliessend an Russ (Kohlenstoff) und Sauerstoff haben wir das Kapitel „chemische Elemente, chemische Reaktionen, Mischungen und Verbindungen“ mit klassischem Chemieunterricht, ergänzt durch Schülerexperimente im Labor, erarbeitet. Am Ende des zweijährigen Unterrichts haben wir dann mit der Kerze wieder zurückgeschaut und dazu die Akte 3 und 4 inszeniert. Schliesslich habe ich dann, nochmals zwei Jahre später, in der Fachdidaktik das Lehrstück in den Rahmen der Didaktik und des Lehrplans gestellt.

3.) Unterricht mit Studierenden der Lehrerbildung (1998), siehe Unterrichtsbericht Kapitel 3.2.2., 5 Wochen mit insgesamt 11 Stunden. Da die Studierenden über ein Abitur verfügen, konnten gewisse chemische Grundkenntnisse vorausgesetzt werden und damit insbesondere die Akte 3 und 4 schneller erarbeitet werden. Am Anfang, wo es um das genaue Beobachten und das Selber-Denken ging, waren wir aber nicht wesentlich schneller als die Viertklässler!

	Die Kerze in einer vierten Klasse (1992/93)		Die Kerze in einer 10.Klasse am Anfang des Chemieunterrichts (1994/96)		Die Kerze mit Studenten und Studentinnen der Lehrerbildung (1998)	
1.Woche	Zeichnen, Was brennt? Wachs schmelzen	Aggregatzust., Löschexp.	Zeichnen, Was brennt? Metaebene: sokr. Gespräch		Zeichnen, Was brennt?	Wachs schmelzen, Wachsdampf
2.Woche	Volumenänd., Flammensprung	Wachsdampf sammeln	Wachs schmelzen, Flammensprung, Wachsdampf selbständige Hefteinträge		Temperatur, Löschexp.	Aggregatzust., tanzende Flamme, Funktion des Dochts
3.Woche	Funktion des Dochts	Das Mädchen mit den Schwefelhölzchen	Aggregatzust., Temperatur, tanzende Flamme Löschexperimente		blaue und gelbe Flamme, Russ in der Flamme	Projektion der Flamme
4.Woche	Weihnachtsferien		Funktion des Dochts, Kapillaren blaue und gelbe Flamme		Metaebene: Faradays Vorl. Kerze in 4.Klasse	Metaebene: Wagenschein: gen-sokr-exempl
5.Woche	blaue und gelbe Flamme	Temperatur in der Flamme	Russ in der Flamme selbständige Hefteinträge		H ₂ O und CO ₂ , Reaktionsgl.	Verbrennung, Photosynth., Kreislauf Märchen, didaktische Interpretation
6.Woche	Russ in der Flamme	Festhalten	Projektion der Flamme Metaebene: Faradays Vorl., Kerze in 4.Klasse			

zwei Jahre später,
am Ende des
Chemieunterrichts:

H ₂ O und CO ₂ , Reaktionsgl.
Verbrennung, Atmung, Photosynthese
Kreislauf, Kerzenherst.

zwei Jahre später,
in der Fachdidaktik:

„Faradays Kerze“ im Lehrplan

3.3. Didaktische Interpretation des Lehrstücks „Faradays Kerze“

3.3.1. Wagenscheins Methode: Genetisch - sokratisch - exemplarisch - beim Kerzen-Lehrstück

3.3.1.1. Genetisch

Genetisch kommt von Wachsen, Entstehen. Ein genetischer Lehrgang ist so angelegt, dass die Schüler und Schülerinnen das Entstehen des Wissens erleben. Er steht im Gegensatz zum darlegenden Lehrgang. Das Thema „Kerze“ wird man in den Chemiebüchern kaum finden. Man muss unter dem Stichwort „Verbrennung“ suchen. Im Lexikon findet man folgende Beschreibung: „Bezeichnung für die schnelle chemische Vereinigung eines Stoffes mit Sauerstoff oder einem andern Oxidationsmittel unter Entwicklung hoher Temperatur und Lichterscheinungen“ (Römpps Chemie-Lexikon)¹⁷¹. Wie wird das Kapitel „Verbrennung“ nun in den Lehrbüchern dargestellt? Ich zitiere aus zwei Chemiebüchern von Berner Autoren, die auch in Deutschland bekannt sind:

1. Baars/Christen: Allgemeine Chemie: Theorie und Praxis. Die Verbrennung wird im Kapitel „Sauerstoff“ als Beispiel für eine Oxidation erwähnt: „Auch bei den gewöhnlichen Verbrennungsvorgängen wird Sauerstoff verbraucht. Dabei verbindet sich der brennende Stoff mit Sauerstoff.... Verbrennungen sind also besonders rasch verlaufende Oxidationen, wobei Licht und Wärme frei werden. Es gibt aber auch langsamer verlaufende Oxidationen; Beispiele dafür sind das Rosten...“¹⁷² Die Formulierung stimmt natürlich, und sie umfasst auch mehr als nur die Verbrennung bei der Kerze, aber sie ist aus der Sicht des Chemikers und nicht aus der Sicht des Lernenden formuliert. Der genetische Lehrgang geht anders vor. Er orientiert sich an Vorgängen, die wir sehen, denen wir im Alltag begegnen, klärt diese und stösst erst nach und nach zu den allgemein gültigen Formulierungen vor. Erst wenn Lernende die Verbrennung von Holz oder Erdgas oder Kerzenwachs verstehen und wenn sie wissen, was beim Rosten passiert, kann man den Zusammenhang sehen. Der Begriff „Oxidation“ muss sich aufdrängen, er soll nicht vorangestellt und dann mit Beispielen ergänzt werden.

2. Arni: Elementare Bindungslehre. Hier wird die Verbrennung unter dem Kapitel „Reaktionsgleichungen“ erwähnt. Es beginnt folgendermassen: „Werden bei chemischen Reaktionen Licht und Wärme freigesetzt, so spricht man von Verbrennung. Erfolgen Verbrennungen im Gaszustand, so beobachtet man eine Flamme. Die im Alltag auftretenden Verbrennungen sind Reaktionen mit dem Sauerstoff.“¹⁷³ Auch hier geht der Autor von der allgemeinen Formulierung zu den Beispielen, umgekehrt als im genetischen Lehrgang. Zudem wird als Beispiel die Verbrennung von Wasserstoff erwähnt¹⁷⁴. Sie kommt nicht aus der Erfahrungswelt der Schüler und Schülerinnen und ist auch von der Beobachtung her keine typische Verbrennung, weil sie explosionsartig verläuft. Aber man kann bei diesem Beispiel die Reaktionsgleichung sehr einfach formulieren, und darauf kommt es Arni an.

¹⁷¹ 7. Auflage, S.3788

¹⁷² Günter Baars / Hans Rudolf Christen: Allgemeine Chemie; S. 24/25

¹⁷³ Arnold Arni: Elementare Bindungslehre; S. 56

¹⁷⁴ a.a.O., S.56

Wir stehen beim Begriff „Genetisch“, und ich will drei Aspekte des Genetischen vertiefen:

I) Wagenschein betont immer wieder, wie wichtig es ist, die originären Forscher in ihren Quellen zu lesen.¹⁷⁵ In solchen Texten können wir sehen, wie das Wissen entstanden ist.

Im Lehrstück „Kerze“ wird diese Forderung im strengen Sinn nicht eingelöst. Wir stützen uns auf Faraday, aber Faraday tritt in seiner Vorlesung „Naturgeschichte einer Kerze“¹⁷⁶ nicht als Forscher, sondern als Lehrer auf. Für die Schüler und Schülerinnen kann es interessant zu sehen, wie der berühmte Physiker und Chemiker Faraday das, was sie in ihren Worten ausgedrückt haben, formuliert. Faraday sollte aber nicht am Anfang stehen, sondern erst nach dem eigenen Nachdenken über die Phänomene. Und Faraday muss dabei natürlich als Mensch sichtbar werden mit seinem eindrücklichen Werdegang vom Buchbinderlehrling zum Laboranten und schliesslich zum bedeutenden Physiker und Chemiker¹⁷⁷.

II) Einwurzelung: Wagenschein verwendet diesen Begriff in Anlehnung an Simone Weill¹⁷⁸. Voraussetzung, dass Wissen in uns einwurzelt - und nicht nur auswendig gelernt wurde - ist einerseits, dass es in unsere Alltagswelt eingebettet ist oder aus ihr herauswächst, andererseits, dass der ganze Mensch angesprochen wird, nicht nur sein Intellekt, auch seine Gefühle.

Für unser Thema trifft das zu: Kerzen sind uns vertraut. Jeder hat schon oft eine Kerze betrachtet und ihre Ausstrahlung wahrgenommen. Und Kerzen sind mehr als nur Lichtquellen: „Wie vermag doch der schlichte Kerzenschein uns in jene besinnliche Stimmung zu bringen, die so wohltuend auf uns wirkt!“¹⁷⁹ Wenn ich an Weihnachten die Kerzen betrachte, denke ich nicht: Der Wachsdampf brennt, und der Russ glüht. Ich freue mich über ihr ruhiges Licht. Die chemische Betrachtung¹⁸⁰ der Kerze ersetzt also nicht die gefühlsmässige Sicht, sondern sie ergänzt und bereichert sie. Keine Spaltung also, sondern ein Einwurzeln der chemischen Sichtweise in ein ganzheitliches Bild. Die neue chemische Sichtweise kann aber nicht einwurzeln, wenn man die Kerzenflamme als Beispiel einer Oxidation nennt und dann weitergeht. Erst eine intensive Beschäftigung, ein intensives Sich-Einlassen führt dazu, dass die chemische Sichtweise auch ausserhalb des Chemieraumes

¹⁷⁵ Martin Wagenschein: Einladung, Galilei zu lesen; In: M.Wagenschein: Naturphänomene sehen und verstehen; S.52ff. Zur Bedeutung der Quellenlektüre in der Lehrerbildung siehe M.Wagenschein: Die Pädagogische Dimension der Physik; S116/117.

¹⁷⁶ Michael Faraday: Naturgeschichte einer Kerze; herausgegeben von P.Buck.

¹⁷⁷ Literatur zur Biographie von Faraday: Leslie Pearce Williams: Michael Faraday, A Biography; Da Capo Press, 1965 (englisch) und Jost Lemmrich: Michael Faraday, Erforscher der Elektrizität; Beck, 1991

¹⁷⁸ Martin Wagenschein: Verstehen lehren; S. 78/79

¹⁷⁹ Eva Blandine: Kerzenlicht

¹⁸⁰ Rudolf Messner, Horst Rumpf und Peter Buck nennen fünf Arten des Naturwissens:

1. das lebenspraktische Umgangswissens
2. das systematische Wissen der modernen Naturwissenschaft
3. das verstehende Wissen
4. das mimetisch-symbolische Naturwissen
5. das physiognomisch-portraithafte Naturwissen

(R.Messner, H.Rumpf, P.Buck: Natur und Bildung; Über Aufgaben des naturwissenschaftlichen Unterrichts und Formen des Naturwissens; Chimica didactica 1/97).

Mit chemischer Betrachtungsweise meine ich hier die Punkte 2 und 3.

Bestand hat. Zwei Dinge sind dabei wichtig: (1) Das Wissen darf nicht in Form von Kenntnissen, sondern es muss in Form von Erkenntnissen vermittelt werden.¹⁸¹

(2) Die Erkenntnisse müssen von den Schülern und Schülerinnen verarbeitet werden. Peter Buck verwendet in diesem Zusammenhang die Metapher: Zum Einatmen gehört auch das Ausatmen.¹⁸² Einatmen - Ausatmen kann übersetzt werden mit Aufnehmen - Wiedergeben. Für mich sind im Lehrstück die Texte, die die Schüler und Schülerinnen selbständig in ihr Heft schreiben, Gelegenheiten zum Ausatmen.

III) Wenn genetisch mit „werden“ übersetzt wird, dann geht es auch um das „Werden“ des Menschen. Was trägt die Chemie, oder im konkreten Fall hier die Kerze, zur Entwicklung des jungen Menschen bei? Welche Lebenskräfte werden geweckt? Beim Begriff „Lebenskräfte“ geht es um eine philosophische Dimension. Lichtenberg schreibt: „Wer nur Chemie versteht, versteht auch die nicht recht.“¹⁸³ Hier ist vor allem der Schluss des Lehrstücks zu nennen: Der Kreislauf von Verbrennung und Photosynthese und die Erkenntnis, dass Verbrennung und Atmung chemisch dasselbe sind, geben einen andern Blick auf unser Verhältnis zu der Natur, zu unserer Abhängigkeit von den Pflanzen. Mit Lebenskraft meine ich hier die Erkenntnis: Wir sind Teil der Natur (Arni würde hier eher schreiben: Wir wollen die Natur beherrschen).

Insgesamt zum Genetischen:

Wagenschein schreibt: „Verstehen heisst: Selber einsehen, wie es kommt.“¹⁸⁴ Immer wieder können wir bei der Kerze diesen Prozess vollziehen: Wir entdecken, dass Wachs im dampfförmigen Zustand brennt, wir begreifen die Funktion des Dochts, und wir finden, dass die glühenden Russteilchen der Flamme ihre leuchtend gelbe Farbe geben. All diese Erkenntnisse ergeben sich aus einfachen und faszinierenden Experimenten. Das Lehrstück ist hier in vorbildlicher Weise genetisch. Im zweiten Teil ist das Selber-Entdecken nicht mehr möglich. Ohne chemische Grundkenntnisse können die Schüler nicht darauf kommen, dass bei der Verbrennung Wasser und Kohlendioxid entstehen müssen, und auch die Nachweisreaktionen (Kohlendioxid mit Calciumlauge, Wasser mit Kupfersulfat) müssen vom Lehrer gebracht werden. Der Unterricht ist dann ein genetischer Vortrag im Sinne Schleiermachers¹⁸⁵, aber das ist bei Wagenschein, denke ich, nicht gemeint.

3.3.1.2. Sokratisch:

„Es muss also ein Phänomen da sein, das die Eigenschaft hat, dass man darüber stolpert, beim Aufnehmen.“¹⁸⁶

Neben dem sorgfältig ausgewählten Anfangsphänomen ist auch die Formulierung der Fragestellung wichtig. Beides scheint mir bei Theophel ungenügend. Die Schüler und Schülerinnen zünden eine Kerze an, das ist gewiss noch kein Phänomen, über das man sich wundert. Und die Aufforderung: „Betrachtet die Kerzen-

¹⁸¹ siehe Norbert Landwehr: Neue Wege der Wissensvermittlung; S.9

¹⁸² Peter Buck: Einwurzelung und Verdichtung; S.55-57.

¹⁸³ zitiert nach Martin Wagenschein: Die pädagogische Dimension der Physik; S.227

¹⁸⁴ Martin Wagenschein, Verstehen lehren, S.120

¹⁸⁵ Adolf Diesterweg: Über die Lehrmethode Schleiermachers

¹⁸⁶ Martin Wagenschein: Über das exemplarisch-genetische Lehren; Video-Aufnahme

flamme“ ist nicht präzise genug, um das Nachdenken auszulösen. Viel besser ist das zum Beispiel der Flammensprung. Johannsen führt ihn wortlos vor. „Isabell und Helen rufen erstaunt auf, als von dem [brennenden] Span die Flamme plötzlich bis zur Kerze überspringt. Alle sind mit einem Mal wie elektrisiert und versuchen, ob ihnen der Flammensprung gelingt. Und immer wieder findet - wie Reto formuliert - die Flamme durch den Rauch zur Kerze zurück.“¹⁸⁷

In meinem Unterricht beginne ich mit dem Zeichnen. Einerseits will ich bewusst nicht sofort mit dem naturwissenschaftlichen Blick anfangen, andererseits löst die Schwierigkeit, die Flamme aus dem Gedächtnis zu zeichnen, ein Interesse aus, genau hinzusehen.

„Man sitzt im Kreis, entschlossen, ein natürliches Phänomen aus eigener Kraft zu klären; gemeinsam, miteinander. ...“¹⁸⁸ Der Lehrer hat hier nicht die Aufgabe, zu erklären, sondern er muss sehr aufmerksam und behutsam das Gespräch leiten. Wenn ich einem Schüler zuhöre, dann geht es ja nicht darum: Stimmt das, was er sagt, oder stimmt es nicht, sondern ich muss überlegen: Wie reagiere ich: Frage ich die anderen, was sie dazu denken? Gebe ich einen Impuls? Und welchen: eine weitere Frage? einen Hinweis zum Weiterdenken? ein passendes Experiment? Oft reagieren die Mitschüler nicht direkt auf einen von einem anderen geäußerten Vorschlag, sondern formulieren eine neue Idee. Ich muss dann aufpassen, dass die alte Idee nicht verloren geht: Vielleicht beharre ich darauf, dass wir den Vorschlag des ersten Schülers diskutieren, vielleicht schreibe ich mir ein Stichwort auf, damit ich später auf die Idee zurückkommen kann. Und ich habe auch die Aufgabe zu merken, wenn die Schüler die Übersicht verloren haben. Ich muss dann fragen: Wo stehen wir? Was wollten wir? Was haben wir erreicht? Was fehlt noch? Für mich ist es wichtig, die Sache sehr gut zu kennen, damit ich richtig reagieren kann. Und trotzdem ist jedes sokratische Gespräch wieder ein Abenteuer.

3.3.1.3. Exemplarisch

Wagenschein zeichnet den Lehrer als Bergführer, aber einen, der nicht voran geht, sondern einen, der der Gruppe das Klettern beibringen will. Und er schreibt dann, und das sind die Sätze, auf die es mir hier ankommt: „Er braucht nicht alle Berge zu besuchen, es genügt ihm dieser und jener. Der Berg muss nur so gewählt werden, dass man an ihm das Steigen lernt und dass er den Verlauf der ganzen Gebirgskette überschauen und verstehen lehrt.“¹⁸⁹

(a) Steigen lernen heißt hier:

Grundlegende Einsichten über Chemie gewinnen. Martin Wagenschein hat 1953 Funktionsziele für den physikalischen Unterricht formuliert¹⁹⁰, die ich nun darstellen und auf das Kerzen-Lehrstück beziehen will. Ich werde dabei auch zeigen, dass die für den Physikunterricht formulierten Funktionsziele nur zum Teil auf die Chemie übertragbar sind. Die chemische Denkweise ist anders als die physikalische, man muss mehr hinnehmen, dass ein Verhalten so ist, wie man es beobachtet, und dass sich kein allgemein gültiges Grundgesetz dahinter erkennen lässt. Aus diesem Grund versuche ich, die Funktionsziele von Wagenschein für die Chemie zu formulieren.

¹⁸⁷ Aus dem unveröffentlichten Unterrichtsbericht von Ortwin Johannsen

¹⁸⁸ Martin Wagenschein: Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft; S. 80

¹⁸⁹ Martin Wagenschein: Natur physikalisch gesehen; S.19

¹⁹⁰ Martin Wagenschein: Das exemplarische Lehren als ein Weg zur Erneuerung des Unterrichts an den Gymnasien; In: M.Wagenschein: Naturphänomen sehen und verstehen; S. 184 - 194

1.Funktionsziel bei Wagenschein: Erfahren, was in der exakten Naturwissenschaft heisst: verstehen, erklären, die Ursache finden.

Verstehen beginnt mit dem Staunen über ein unerwartetes Verhalten. Dieses Staunen weckt das Bedürfnis zu verstehen, was letztlich nichts anderes heisst als: Das Neue, Ungewöhnliche mit etwas in Verbindung bringen, das wir kennen. In Wagenscheins Worten: „Im »Fremden« einen »alten Bekannten« erkennen“¹⁹¹.

Bei der Kerze geht es um die Verbrennung. Im Alltag unterscheiden wir Stoffe, die brennen und andere, die nicht brennen. Das Staunen setzt ein, wenn weder Wachs noch Docht recht brennen. Die Lösung bringt der Versuch mit dem Erhitzen des Wachses im Schälchen: Es entsteht ein brennbarer Stoff, nämlich der Wachsdampf, und dass Dämpfe brennen können, wissen wir von Benzin.

In der Chemie sind die Ursachen oft nicht zugänglich. Vieles müssen wir einfach hinnehmen, und Verstehen heisst dann nur: „Nachvollziehen können, warum man das so sagt.“¹⁹² Bei der Kerze bedeutet das zum Beispiel: Wir fragen nicht, warum Wachsdampf brennen kann. Wir akzeptieren das und überlegen, wie wir diese Beobachtung verwenden können, um die Funktionsweise der Kerze (Docht saugt flüssiges Wachs auf, in der Flamme verdampft es, ..) zu erklären. In der modernen Chemie, welche das Verhalten der Stoffe auf ihren atomaren Aufbau zurückführt, muss der Begriff „Verstehen“ neu überdacht werden. Werner Heisenberg schreibt: „In der bisherigen Physik konnte man, wenn man ein neues Phänomen erklären wollte, unter Benützung der vorhandenen Begriffe und Methoden versuchen, das neue Phänomen auf die schon bekannten Erscheinungen oder Gesetze zurückführen. [So beschreibt Wagenschein das Verstehen in der Naturwissenschaft U.A.] In der Atomphysik aber wissen wir, dass die bisherigen Begriffe dazu nicht ausreichen“¹⁹³ Im Lehrstück Kerze bleiben wir auf der Ebene der Phänomene.¹⁹⁴

Ich formuliere das 1.Funktionsziel folgendermassen:

1.Funktionsziel: Erfahren, was in der Chemie heisst: Verstehen.

2.Funktionsziel bei Wagenschein: Erfahren, wie man ein messendes Experiment ausdenkt, ausführt, auswertet, und wie man aus dem Experiment die mathematische Funktion gewinnt.

Das Ausdenken von Experimenten, das Messen und Auswerten der Messergebnisse ist die zentrale Methode der Naturerforschung.¹⁹⁵ In der Chemie geht es nicht um das Gewinnen einer mathematischen Funktion als Ergebnis der Untersuchungen, sondern darum, herauszufinden, welche Stoffe bei einer Reaktion entstehen und unter welchen Bedingungen diese Reaktion abläuft. Dazu müssen oft speziell konzipierte Versuchseinrichtungen ausgedacht werden.

¹⁹¹ Martin Wagenschein: Verstehen lehren; S.121

¹⁹² Formulierung von Peter Buck

¹⁹³ Werner Heisenberg: Der Teil und das Ganze; S.53

¹⁹⁴ Gerda Freises Behauptung: „Chemieunterricht kann nicht in der Art des von Martin Wagenschein beschriebenen Lehrens und Lernens stattfinden“ ist richtig, wenn man die Erklärung der Reaktionen aufgrund der modernen Atomvorstellung meint. Das Lehrstück „Kerze“ zeigt, dass ein Unterricht im Sinne Wagenscheins auf der Ebene der Phänomene gut geht. Siehe dazu: Peter Buck: Der Briefwechsel zwischen Freise und Wagenschein, chimica didactica 1996, S.363 (These 3)

¹⁹⁵ Martin Wagenschein weist darauf hin, dass man zwischen den Phänomenen, den lockenden Rätseln der freien Natur, und den messenden Experimenten unterscheiden muss: Durch die Phänomene wird der Lernende „herausgefordert, zum intensiven Anschauen, zum Feststellen des Unverständlichen darin, zum Vergleichen, zum Vermuten, zum prüfenden isolierenden Experiment,.....Verstehen heisst stehen auf den Phänomenen - und messende Experimente sind schon keine Phänomene mehr“ (M.Wagenschein: Wenn unsere Gelehrten so fortarbeiten...; S.157 und 158)

Daher:

2.Funktionsziel: Erfahren, wie in der Chemie ein systematisches Untersuchungs-Design angefertigt wird.

Bei der Kerze wird dieses Ziel im doppelten Sinne erreicht: Im ersten Teil geht es vor allem darum, Experimente zu erfinden, durch deren Beobachtung unsere Fragen und Vermutungen geklärt werden: Brennt Wachs ohne Docht? Das kräftige Erhitzen im Schälchen klärt die Frage: Ja, wenn Wachs genügend erhitzt wird, kann es auch ohne Docht brennen. Stimmt es, dass die dunkle Zone in der Flamme aus Wachsdampf besteht? Die Versuche mit den Glasröhrchen bestätigen unsere Vermutung.

Im zweiten Teil des Lehrstücks geht es darum, die unseren Beobachtungen unzugänglichen Verbrennungsprodukte zu erfassen: Mit einer Kühlfalle weisen wir das Wasser nach, mit einer Waschflasche mit Calciumlauge weisen wir das Kohlendioxid nach. Die Schüler und Schülerinnen lernen, wie solche Geräte aufgebaut sind.

3.Funktionsziel bei Wagenschein: Erfahren, wie ein ganzes Teilgebiet der Physik sich mit einem anderen in Beziehung setzen und gleichsam darin auflösen lässt.

Wagenschein erwähnt als klassisches Beispiel die Optik. Die Beschreibung von Licht als elektromagnetische Welle ermöglicht es, die Optik als Teilgebiet des Elektromagnetismus zu verstehen. Hinter dem 3.Funktionsziel steckt das Bestreben der Physiker, die Vielfalt der Gesetze auf einige wenige, weit tragende Grundgesetze zurückzuführen.

Ich verzichte hier aus zwei Gründen auf die Formulierung eines dritten Funktionsziels:

a) Grundgesetze sind in der Chemie weniger zentral als in der Physik. Oft müssen wir einfach zur Kenntnis nehmen, dass gewisse Stoffe in einer bestimmten Weise reagieren, ohne dass wir das auf ein allgemein gültiges Grundgesetz zurückführen können.

b) Im Sinne der Lehrstückdramaturgie soll das Lehrstück Kerze eine selbständige und in sich geschlossene Einheit sein. Wagenscheins Funktionsziel widerspricht meines Erachtens der Zielsetzung von Lehrstücken.

4.Funktionsziel bei Wagenschein: Erfahren, was in der Physik ein „Modell“ ist.

In der Chemie ist dies wohl das zentrale Funktionsziel. Man spricht dauernd von Atomen und Elektronen, obwohl wir diese Teilchen nicht sehen können. Und wenn viele Lehrbücher mit den Atomen anfangen (z.B. Baars/Christen, Allgemeine Chemie¹⁹⁶: 1.Kapitel: Stoffe bestehen aus kleinsten Teilchen; oder Arni: Elementare Bindungslehre¹⁹⁷: 1.Kapitel: Der Bau der Atome), scheint mir schon fast alles verloren, denn die Schüler und Schülerinnen werden diese Bilder für real halten. „Der Hals-über-Kopf-Sprung in die Unterwelt der Modelle gefährdet das Kostbarste, was wir erziehen dürfen: den Wunsch des Kindes [und auch der Jugendlichen, U.A.], wirklich zu verstehen“¹⁹⁸

¹⁹⁶ Günter Baars / Hans Rudolf Christen: Allgemeine Chemie: Theorie und Praxis; S.3 ff

¹⁹⁷ Arnold Arni: Elementare Bindungslehre; S.6; In seinem neusten Buch: „Verständliche Chemie“ lautet das erste Kapitel: „Elementarteilchen“.

¹⁹⁸ Martin Wagenschein: Atomphysik in der Volksschule? In: W.Bleichroth: Didaktische Probleme der Physik; S.248

In Arnis Buch lautet der erste Satz: „Atome bestehen aus den drei Elementarteilchen Neutronen, Protonen und Elektronen.“ Kein Wort davon, dass dies nur ein Bild ist, das uns ermöglicht, Reaktionen zu erklären, dass niemand ein solches Atom gesehen hat. Wenn Lehrerstudenten und -studentinnen mir sagen: „Atome bestehen aus einem Kern und aus Elektronen, die darum herum kreisen“, erlaube ich mir die Frage: „Haben Sie das gesehen?“ Die Reaktionen gehen von Verwunderung bis zu Entrüstung: „Aber es ist doch so!“

Natürlich hat sich die Vorstellung der Atome bewährt, und mit dem Bild der Elektronenschalen lassen sich auch die chemischen Bindungen erklären. Trotzdem bleibt es eine vom Menschen geschaffene Vorstellung, ein Modell, und das sollte den Lernenden immer wieder klar gemacht werden. Also:

4.Funktionsziel: Erfahren, was in der Chemie ein Modell ist, was es leistet und wo seine Grenzen sind.

Im Lehrstück Kerze bleiben wir auf der Ebene der Phänomene. Wir erklären neue Beobachtungen, indem wir sie auf frühere Beobachtungen zurückführen, aber wir verzichten darauf, die Beobachtungen auf der Ebene der Atomvorstellung zu deuten. Das Lehrstück erhebt deshalb nicht den Anspruch, das 4. Funktionsziel zu erfüllen.

5.Funktionsziel bei Wagenschein: Erfahren, wie schliesslich - aufbauend auf alles Vorausgegangene - der physikalische Forschungsweg selber zum Gegenstand der Betrachtung wird, einer wissenschaftstheoretischen Betrachtung.

Es geht um den Aspektcharakter, um die Grenzen der Physik. Wir sind damit bei einem zentralen Anliegen Wagenscheins: Physik beschreibt nicht die Natur an sich, sondern nur denjenigen Aspekt der Natur, der sich aus der physikalischen Betrachtungsweise, nämlich der messbaren, letztlich in Zahlen ausdrückbaren, wiederholbaren und objektiven Eigenschaften, ergibt.

Wagenschein beschreibt es bildhaft so: „Es bleibt der Physik von der Natur vielleicht so viel oder so wenig übrig, wie von einem Blütenbaum bleibt, wenn wir seinen Schatten auf der Mauer ansehen: keine Farbe, kein Rauschen des Windes, kein Duft, kein Bienensummen, nur der Schatten: und doch sagt er Richtiges: Geometrisches. Die Projektion ist arm, aber sie ist genau.“¹⁹⁹ All das lässt sich wörtlich auf die Chemie übertragen. Ich formuliere das Funktionsziel im Hinblick auf den Aspektcharakter folgendermassen:

5.Funktionsziel: Sich bewusst werden über die Reichweite und die Grenzen der Betrachtung der Natur durch die chemische Sichtweise.

Wird dies bei der Kerze deutlich? Ja: Wenn wir uns auf die chemischen Vorgänge konzentrieren, können wir erklären, was brennt, welche Produkte entstehen und warum die Flamme leuchtet. Wir haben gelernt, wie der Chemiker die Kerze sieht, nicht wie die Kerze „in Wirklichkeit“ ist. Die emotionale Seite darf durch die chemische Betrachtungsweise nicht verloren gehen. Hartmut Klein hat diese Seite in seiner Inszenierung sehr schön aufgenommen: Kerzen ziehen, über die religiöse Bedeutung der Kerze nachdenken.²⁰⁰

6.Funktionsziel bei Wagenschein: An einigen Begriffsbildungen erfahren, wie die physikalische Art, die Natur zu lichten, geistesgeschichtlich geworden ist.

¹⁹⁹ Martin Wagenschein: Die Pädagogische Dimension der Physik; S.26

²⁰⁰ Hartmut Klein schreibt zu seiner ersten Unterrichtsstunde: „Der einzelne Unterrichtsgegenstand bekommt plötzlich eine ungeahnte Weite. Die engen Grenzen des Faches werden für einen Moment überschritten“. (Neue Sammlung 1/90, S.70)

Physik und Chemie sind Formen der Beschreibung der Natur durch den Menschen, die auf Gesetzmässigkeiten abzielen. Wenn wir die Schüler und Schülerinnen die Gesetzmässigkeiten der Kerze selber entdecken lassen, können sie erleben, wie diese Gesetzmässigkeiten in unserem Geist konstruiert werden. Ich denke, dass Wagenscheins 6.Funktionsziel ein zentrales Anliegen der Lehrkunst ist. Die Lehrkunst beschäftigt sich mit „mit bestimmten Orten in der Geschichte der Menschheit, ... in denen eine neue Sicht-, Denk- oder Handlungsweise zum Durchbruch gekommen ist.“²⁰¹ Im Lehrstück „Faradays Kerze“ geht es darum zu zeigen, wie man mit der Vorstellung der chemischen Elemente chemische Prozesse beschreiben kann. Im Chemieunterricht wird diese Vorstellung oft als selbstverständliche Wahrheit dargestellt. Aristoteles (mit den vier Elementen Wasser, Feuer, Erde, Luft) oder die Alchimisten (mit den trias prinzipias) hatten ganz andere Vorstellungen, wie man die chemischen Reaktionen erklären müsste. Unsere heutige Vorstellung ist im Wesentlichen geprägt von Lavoisier (Gesetz von der Erhaltung der Masse und Erklärung der Verbrennung als Reaktion mit Sauerstoff) und von Dalton (Vorstellung, dass Stoffe aus kleinsten Teilchen - Atomen - bestehen). Begriffe und Vorstellungen sind zeitgeschichtlich geprägt. Theorien entstehen im Kontext der (wissenschaftlich) gängigen Vorstellungen, und Veränderungen der Vorstellungen setzen sich manchmal erst in Form von Durchbrüchen durch²⁰².

Die obigen Anmerkungen führen mich zu folgender Formulierung:

6.Funktionsziel: Erfahren, wie in der Chemie neue Sichtweisen entstanden sind.

7.Funktionsziel von Wagenschein: Erfahren, wie sich das technische (das erfindende) Denken von dem entdeckenden Denken unterscheidet.

Wagenschein beschreibt den Unterschied zwischen dem Entdecken und dem Erfinden so: Entdecken heisst: Ich belausche ein neues wildes Tier, bis ich es kenne. Ich frage: „Wer bist Du?“ Erfinden heisst: Ich kenne nun das Tier und kann versuchen, es zu dressieren. Ich frage: „Willst Du wohl?“

Die Kerze ist eine Erfindung. In der Natur kommt das ungebändigte Feuer vor, das eine Gefahr darstellt, das Häuser und Wälder verzehren kann. Mit der Kerze hat der Mensch auf wunderbare Weise dieses Feuer gezähmt: Der Docht führt der Flamme nur soviel Brennstoff zu, dass diese ruhig brennt und das Wachs der Kerze nicht zu stark erhitzt, und die zur Flamme strömende kalte Luft kühlt den Rand des Schälchen, so dass der Wachssee nicht davonläuft. Der Unterschied zwischen Entdecken und Erfinden gilt auch in der Chemie:

7.Funktionsziel: Erfahren, wie sich das technische (das erfindende) Denken von dem entdeckenden Denken unterscheidet.

8.Funktionsziel bei Wagenschein: Erfahren, wie ohne verfrühte Mathematisierung und ohne Modellvorstellungen ein phänomenologischer (und „qualitativer“) Zusammenhang herzustellen ist, der das ganze Grundgefüge der Physik gliedert und zusammenhält.

Im ersten Teil des Lehrstücks werden von den Phänomenen aus durch Beobachtungen Zusammenhänge erarbeitet. Wir insinuieren zwar die Vorstellung der

²⁰¹ Hans Christoph Berg / Theodor Schulze: Zehn Thesen zur Lehrkunst; S.342

²⁰² siehe dazu: Thomas Kuhn: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Zur Sauerstofftheorie der Verbrennung (Lavoisier, 1777) schreibt Kuhn: „Diese Theorie war die Grundlage für eine Neuformulierung der Chemie, und zwar eine so weitgehende, dass sie gewöhnlich die chemische Revolution genannt wird.“ S. 69.

Elemente, aber wir kommen am Anfang ohne Modelle aus, aus eigener Kraft erarbeiten wir die Erkenntnisse. Erst im zweiten Teil stützen wir uns auf Kenntnisse, die wir nicht selber erarbeitet haben (z.B.: Wachs ist Kohlenwasserstoff, besteht also aus Kohlenstoff und Wasserstoff, oder: Kohlendioxid lässt sich mit Calciumlauge nachweisen). Erst dort tauchen wir behutsam in die formale Welt (Reaktionsgleichungen) ein.

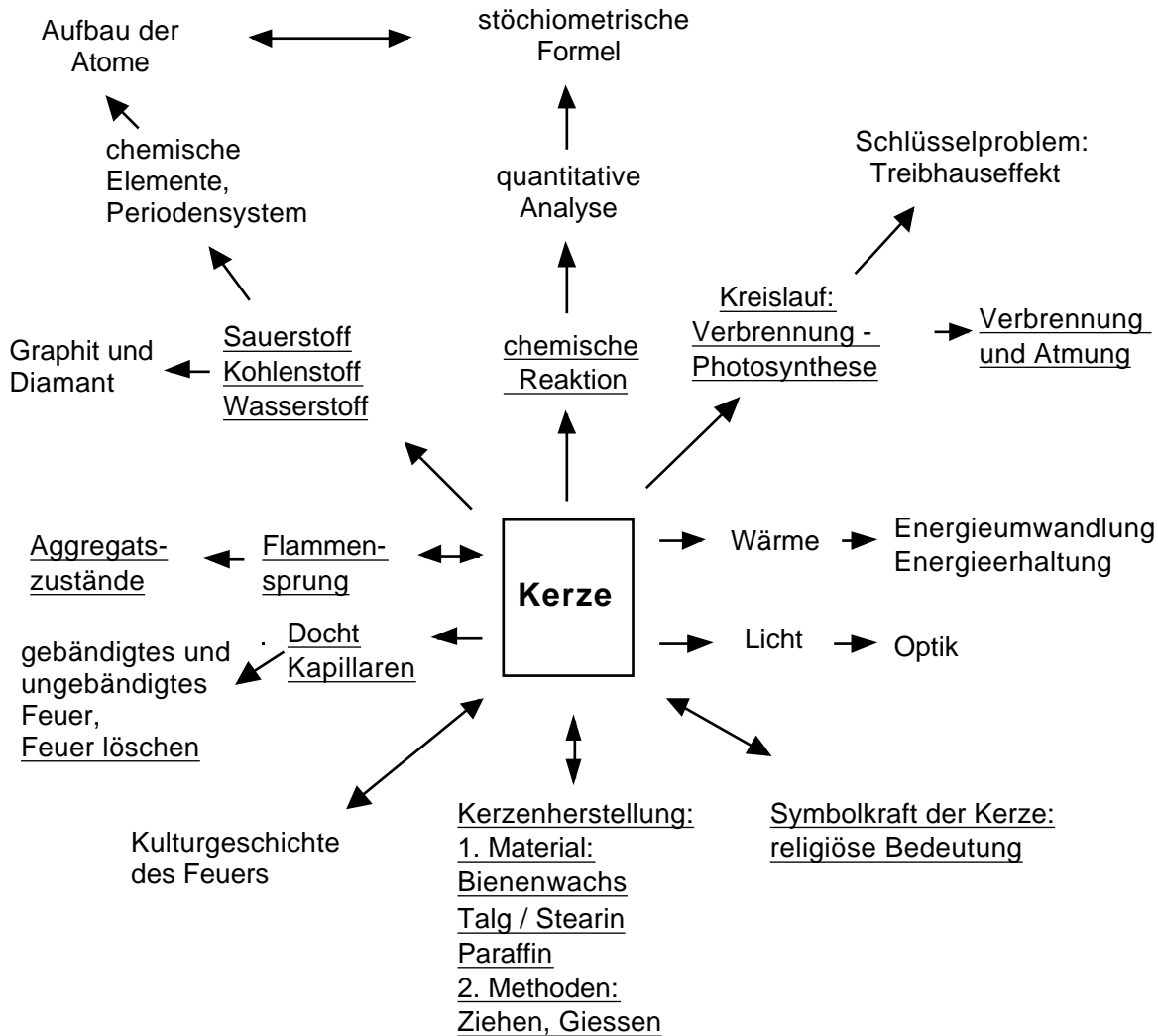
8.Funktionsziel: Erfahren, wie ohne verfrühten Rückgriff auf Modelle aus den Beobachtungen Erkenntnisse und Zusammenhänge aufleuchten und wie sich daraus die Modelle aufdrängen.

Die Funktionsziele beschreiben den Bildungsgehalt des Chemieunterrichts. Wenn wir von Bildung sprechen, dann geht es um grundlegende Einsichten und Erfahrungen. Diese können nun aber nur an konkreten Inhalten gemacht werden. Ich wende mich damit dem zweiten Teil des Wagenschein-Zitats zu:

(b) Den Verlauf der Gebirgskette überschauen heisst:

Welche anderen Themen sind mit der Kerze verbunden oder können aus der Kerze erschlossen werden?²⁰³ Die thematische Landkarte zeigt, welche Themen im Lehrstück direkt angesprochen werden (unterstrichen) und welche anderen Themen sich anschliessen können:

²⁰³ vgl dazu Martin Wagenschein: Die Pädagogische Dimension der Physik; S.203-205



Der Begriff „epochaltypische Schlüsselprobleme“ stammt von Wolfgang Klafki. Er meint damit Probleme, die in unserer heutigen Welt zentral sind und mit denen wir uns beschäftigen müssen, die wir lösen müssen, um überleben zu können²⁰⁴. Die „Schlüsselprobleme“ sind deshalb eine andere Art von Themen als die „Menschheitsthemen“, mit denen sich die Lehrkunst befasst. In diesem Sinne passt hier die Formulierung „die ganze Gebirgskette überschauen“ nicht, denn die epochaltypischen Schlüsselprobleme sind gewissermassen eine andere Landschaft, die sich von den Menschheitsthemen her nicht erschliessen lässt. Die Lehrstücke können allenfalls Kenntnisse und Einsichten vermitteln, die zur Behandlung von Schlüsselproblemen verwendet werden können, aber „die ungelösten, umstrittenen Probleme der Gegenwart bleiben - einstweilen? - ausserhalb des

²⁰⁴ Es geht im Unterricht darum, an exemplarisch ausgewählten Problemen:

- historische Wurzeln des Problems deutlich zu machen
- unterschiedliche Lösungsvorschläge und dahinterstehende Interessenperspektiven und Einschätzungen herauszuarbeiten,
- Handlungsmöglichkeiten für die Schüler und Schülerinnen zu diskutieren

(vgl. Wolfgang Klafki: Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik; S.154)

Das Konzept der Schlüsselprobleme ist ausführlich entfaltet in: Wolfgang Klafki: Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik; S. 56 ff.

Themenkreises, den das Lehrkunstkonzept in das Gesichtsfeld von jungen Menschen rückt.“²⁰⁵

Ich habe zum Lehrstück „Kerze“ den Treibhauseffekt als Schlüsselproblem aufgeschrieben, denn er entsteht durch unser übermässiges Verbrennen von fossilen Brennstoffen, natürlich weniger durch das Paraffin der Kerzen, sondern durch das Verbrennen von Benzin und Erdöl. Schlüsselprobleme müssen in einem zeitgemässen Chemie- und Physikunterricht Pflicht sein, auch wenn ein entsprechender Unterricht nicht einfach ist: Neben der Schwierigkeit, dass für die erwähnten Probleme keine Lösungen in Sicht sind, muss sich der Unterricht auch mit dem politischen Aspekt dieser Themen auseinandersetzen.

Ich möchte das Verhältnis von Schlüsselthemen (Berg/Schulze) und epochaltypischen Schlüsselproblemen (Klafki) noch aus einer anderen Sicht beleuchten: Schlüsselprobleme wie Luftverschmutzung, Kernkraftwerke, Arbeitslosigkeit oder Krieg sind bedrohlich. Sie können gerade bei jungen Menschen ernsthafte Lebensängste auslösen. Im Unterricht braucht es deshalb ein Gegengewicht, und da scheint mir die Lehrkunst besonders geeignet, weil sie sich mit Sternstunden der Menschheit beschäftigt, weil in den Lehrstücken sichtbar wird, was die Menschheit in ihrer Geschichte geleistet hat. Also nicht epochaltypische Schlüsselprobleme *oder* Menschheitsthemen, sondern epochaltypische Schlüsselprobleme *und* Menschheitsthemen!²⁰⁶

Insgesamt zum Exemplarischen:

Exemplarisch lehren im Sinne Wagenscheins heisst, dass an grundlegenden Themen fachliche Kenntnisse und allgemeine Einsichten und Fähigkeiten gewonnen werden. „Das Einzelne, in das man sich hier versenkt, ist nicht Stufe, es ist Spiegel des Ganzen.“²⁰⁷ Unser Einzelnes ist die Kerze. Sie spiegelt vieles aus der ganzen Chemie, sie ermöglicht allgemeine Einsichten, die an anderer Stelle wieder verwendet werden können und zwar sowohl fachliche Einsichten (Faraday: „Schwerlich möchte sich ein bequemerer Tor zum Eingang in das Studium der Natur finden lassen“²⁰⁸), die in der thematischen Landkarte aufgezeichnet sind, als auch Einsichten in die Arbeitsweise der Chemie, welche in den Funktionszielen beschrieben sind.

Zu Recht schreibt Wagenschein also: „Faradays Kerze sollte jeder Lehrer kennen.“²⁰⁹

²⁰⁵ Wolfgang Klafki: Exempel hochqualifizierter Unterrichtskultur; S.23

²⁰⁶ vgl. dazu Wolfgang Klafki: „Es ist oder wäre meines Erachtens fruchtlos, diese beiden Perspektiven [die kulturelle Tradition bei Berg/Schulze und die epochaltypischen Schlüsselprobleme bei Klafki, U.A.] gegeneinander auszuspielen, sie als unvereinbar zu erklären, damit also ihre theoretisch erweisbare, wechselseitige Ergänzungsbedürftigkeit zu leugnen.“ Wolfgang Klafki: Exempel hochqualifizierter Unterrichtskultur; S.26

²⁰⁷ Martin Wagenschein: Verstehen lehren; S.32

²⁰⁸ Michael Faraday: Naturgeschichte einer Kerze; S.25

²⁰⁹ Martin Wagenschein: Die Pädagogische Dimension der Physik; S.203

3.3.2. Lehrkunst-Didaktik

3.3.2.1. Lehrstück-Dramaturgie: Die Theatermetapher - im Kerzen-Lehrstück

Die Metapher des Theaters hat sich in der Lehrkustdidaktik als fruchtbar erwiesen. Hausmann schreibt: „Die Dramaturgie ist der Schlüssel zur Didaktik“²¹⁰ Viele, wenn auch nicht alle Aspekte der Gestaltung und Inszenierung eines Lehrstücks lassen sich mit diesem Bild beschreiben. Ich möchte das belegen, indem ich dem Lehrstück „Faradays Kerze“ das Schauspiel von Brecht „Leben des Galilei“ gegenüberstelle.

<u>Drama im Theater</u>		<u>Lehrstück im Unterricht</u>
Bertolt Brecht	Autor	Michael Faraday
die Verantwortung des Naturwissenschaftlers	Thema	die Erklärung von chemischen Reaktionen mit Elementen
Galileo Galilei	Grundfigur	die Kerze
im Drama wird der Gang der Handlung beschrieben: Galilei beim Forschen, die Inquisition, die Verbannung	Handlung	im Lehrstück wird eine Folge von Lernsituationen beschrieben: - der Flammensprung - Russ in der Flamme - Wasser und Kohlendioxid
Regisseur, der das Stück inszeniert	Regisseur	Lehrer, der das Lehrstück inszeniert: H. Klein, U. Aeschlimann, O. Johannsen, E. Theophel
Ensemble des Theaters	Schauspieler	hier ist der Vergleich schwierig: an sich sind es die Schüler, aber es gibt keine festen Rollen und Texte.
Theaterbesucher	Zuschauer	Schüler und Schülerinnen bei der Reflexion des Lernprozesses

²¹⁰ Gottfried Hausmann: Didaktik als Dramaturgie des Unterrichts; S.78 / 79.

Emotionen und Nachdenken auslösen bei den Zuschauern	Ziel	Lernprozesse bei den Schülern, . zum Beispiel: - die Vorstellung der chemischen Elemente soll einwurzeln - der Schüler soll sehen, wie die Naturwissenschaftler arbeiten: Phänomen (Flammensprung) - Hypothese (Wachsdampf brennt) - Experiment (Wachs im Schälchen erhitzen) - Theorie (Reaktionsgleichung der Verbrennung)
Hat es den Zuschauern gefallen? ²¹¹ Wie fallen die Rezensionen aus?	Beurteilung	Hat es den Schülern gefallen? Was haben sie gelernt? Was sagen Kollegen und Fachleute zum Lehrstück?

Im Theater gibt es den Autor, der ein Thema anhand einer Figur in eine Folge von Handlungen, in ein Drama, umsetzt, das auf der Bühne aufgeführt werden kann. Der Regisseur inszeniert mit den Schauspielern das Stück und löst dabei beim Zuschauer Reaktionen (Emotionen, Nachdenken,..) aus. Übertragen wir dieses auf die Lehrkunst: Auch hier gibt es den Autor, der sich ein Thema, ein kollektives Lernereignis, auswählt. Als Autor habe ich Faraday aufgeführt, obwohl das Lehrstück im Wesentlichen nur die 1., 2. und 6. Vorlesung aufnimmt. Zudem musste die Vorlage von Faraday vom Vortragsstil zum Erarbeiten im sokratischen Gespräch umgestaltet werden. In diesem Sinn sind auch die erwähnten Regisseure ein Stück weit Autoren des Lehrstücks.

Beim Schreiben eines Lehrstücks geht es nun darum, eine Grundfigur zu finden, einen „Helden“, an dem das kollektive Lernereignis festgemacht wird. Im Drama ist dies eine Figur, eine Rolle, im Lehrstück „Faradays Kerze“ ist es die Kerze, die eine Folge von Lernsituationen durchläuft: Ausgehend von der Frage: „Was brennt: Wachs oder Docht?“ können wir eine Reihe von Entdeckungen machen: Wachs kann auch ohne Docht brennen, wenn man es so stark erhitzt, dass es sich in Dampf verwandelt. Der Docht hat die Aufgabe, das flüssige Wachs aufzusaugen und der Flamme als Nahrung zuzuführen. Und schliesslich: Es braucht nicht nur das Wachs, sondern auch den Sauerstoff, damit die Kerze brennen kann. Wir finden dann in der Flamme den Russ und erkennen, dass glühende Russteilchen der Flamme ihre leuchtende Farbe geben. Wenn die Kerze beim Brennen immer kleiner wird, muss aus dem Wachs etwas Neues, Unsichtbares gebildet werden: Wasser und Kohlendioxid.

Das Kerzen-Lehrstück ist von vielen Lehrern im Unterricht inszeniert worden. Aus den vorliegenden, zum Teil auch publizierten Unterrichtsberichten habe ich vier ausgewählt, die mir für die Entwicklung des Lehrstücks bedeutend erscheinen:

- Hartmut Klein hat als erster einen Teil des Lehrstücks in einer 7. Klasse in der Stiftsschule St. Johann in Amöneburg unterrichtet. Seinen Unterrichtsbericht findet man in der Zeitschrift „Neue Sammlung“²¹²

²¹¹ „gefallen“ meint hier nicht nur: es ist schön, sondern auch: es beeindruckt mich, es berührt mich; vgl. Fussnote 131

²¹² Hartmut Klein: Faradays Kerze in einer 7. Klasse in Amöneburg; Neue Sammlung, Heft 1, 1990; S. 67 - 75. Neu aufgenommen in: Karl Binnenberg: Pädagogische Fallstudien; S. 83 - 94

- Ueli Aeschlimann hat die Kerze in einer 4.Klasse der Volksschule in Ostermundigen (bei Bern), im Chemieunterricht am Lehrerseminar in Bern (10.Klasse) und mit Studierenden der Lehrerbildung in Bern inszeniert. Der Unterrichtsbericht über die 4.Klasse erschien in der Schriftenreihe der Schweizerischen Wagensein-Gesellschaft²¹³
- Ortwin Johannsen hat das Lehrstück als Gastlehrer an der Ecole d'Humanité in Goldern in einer 9.Klasse unterrichtet. Sein Unterrichtsbericht ist nicht veröffentlicht.²¹⁴
- Eberhard Theophel hat das Lehrstück in einer 9.Klasse der Kestner-Gesamtschule in Wetzlar unterrichtet. Seinen Unterrichtsbericht findet man im Lehrkunstbuch²¹⁵.

Diese Lehrer sind also die Regisseure, die das Lehrstück in ihrem Unterricht inszenieren. Die Theatermetapher wird nun aber schwierig, wenn es um die Schauspieler geht. Im Prinzip sind es die Schüler und Schülerinnen, die sich mit dem Stück auseinandersetzen. Im Unterschied zum Theater gibt es im Unterricht aber keine festgelegten Rollen und keine vorgeschriebenen Texte. Man kann sich als Lehrer allerdings darauf verlassen, dass zentrale Gedanken immer von einem Schüler oder einer Schülerin geäußert werden. Wenn ich das Kerzenlehrstück mit dem Zeichnen der Flamme aus der Erinnerung anfangen, dann kann ich mich darauf verlassen, dass viele unterschiedliche Zeichnungen entstehen und sich daraus ein nachdenkliches Gespräch entwickelt.

Den vom Autor und vom Regisseur beabsichtigten Reaktionen der Zuschauer im Theater entsprechen im Unterricht die vom Lehrer beabsichtigten Lernprozesse, die durch das Lehrstück initiiert werden. Ich habe für die Kerze zwei Ziele von Lernprozessen aufgeschrieben: die Einwurzelung der Vorstellung der chemischen Elemente und das Erkennen der Arbeitsweise in den Naturwissenschaften.

3.3.2.2. Fünf Lehrstück-Merkmale - im Kerzenlehrstück

Theodor Schulze gibt folgende Definition eines Lehrstücks: „Ein Lehrstück ist eine dramaturgisch gestaltete Vorlage für eine begrenzte, in sich zusammenhängende und selbständige Unterrichtseinheit mit einer besonderen, konzept- und bereichserschliessenden Thematik.“²¹⁶ Ich will im Folgenden die fünf Merkmale eines Lehrstücks, die sich aus dieser Definition ergeben, am Lehrstück „Faradays Kerze“ diskutieren.

1. Zeitliche Beschränkung: Ein Lehrstück befasst sich mit einer mittleren Perspektive. Es geht nicht um die Gestaltung einer Einzelstunde und auch nicht um die Planung eines Semesters. Die schon erwähnten Inszenierungen entsprechen diesem Rahmen: Hartmut Klein, 7.Klasse: 7 Stunden (nur Ouvertüre und 1.Akt),

Zusammenfassung dieser Inszenierung siehe Kapitel 3.4.1.

²¹³ Der Unterricht in der 4.Klasse ist im Kapitel 3.2.1., derjenige mit Studierenden der Lehrerbildung im Kapitel 3.2.2. dargestellt.

²¹⁴ Zusammenfassung siehe Kapitel 3.4.2.

²¹⁵ Eberhard Theophel: Alle im Weltall wirkenden Gesetze ..; In: Berg / Schulze: Lehrkunst, S.288-304, Zusammenfassung siehe Kapitel 3.4.3.

²¹⁶ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S.361

Ueli Aeschlimann, 4.Klasse: 10 Stunden, Lehrerseminar (10.Klasse): 12 Stunden, (jeweils nur Ouvertüre, 1.und 2.Akt), Studierende der Lehrerbildung: 11 Stunden (inklusive didaktischer Reflexion),
 Ortwin Johannsen, Ecole d'Humanité, 9.Klasse: 6 Stunden (zu 75 Minuten),
 Eberhard Theophel, Wetzlar, 12 Stunden.

2. In sich geschlossener Zusammenhang: Erlebt der Schüler dieses Lehrstück als Einheit? Sieht er den Zusammenhang zwischen dem Anfang und dem Schluss? Die Fragen: "Was brennt? Warum leuchtet die Flamme? Was entsteht bei der Verbrennung?" hängen eng zusammen. Mit der anschliessenden Besprechung des Kreislaufes wird das Gelernte in einen Rahmen gestellt, und alles ist immer verbunden durch die Kerze, also ganz sicher ein in sich geschlossener Zusammenhang.

3. Selbständiger Charakter: Es geht hier vor allem darum, dass das Lehrstück nicht an einer genau festgelegten Stelle im Chemieunterricht stehen muss, weil es auf bestimmten Kenntnisse aufbaut und die Grundlage für die Erarbeitung nachfolgender Kapitel ist. Faradays Kerze kann selbständig stehen. Je nachdem, wieviel Vorkenntnisse über Reaktionsgleichungen vorhanden sind, wird man im vierten und fünften Akt die Verbrennung als stöchiometrische Gleichung oder nur in Worten formulieren.

4. Konzept- und bereicherschiessende Thematik: Theodor Schulze verwendet auch den Begriff „Menschheitsthema“ und meint damit „ein Thema, das die Menschen anhaltend und immer wieder beschäftigt hat.“²¹⁷ Im Kerzenlehrstück geht es um das Beschreiben der chemischen Reaktionen aufgrund der chemischen Elemente. Unser Verständnis der Elemente ist aber erst etwa 200 Jahre alt. Die Griechen versuchten, die Welt mit den vier Elementen Wasser, Feuer, Erde, Luft zu erklären. Die Alchimisten im Mittelalter arbeiteten mit sogenannten Prinzipien, zum Beispiel die drei Prinzipien Sal, Sulphur und Merkur von Paracelsus. Diese alten Vorstellungen sind uns heute sehr fremd und unverständlich. Ich finde es deshalb richtig, dass das Lehrstück nicht darauf eingeht und dass es auch nicht versucht zu zeigen, warum Sauerstoff und Kohlenstoff Elemente sind, Wasser aber nicht. Es geht im Lehrstück nur darum, einige Elemente kennenzulernen und zu sehen, wie man mit ihnen die Experimente mit der Kerze verstehen kann. Es geht im Lehrstück auch nicht darum, warum eine Reaktion stattfindet. Das Umdenken von der Verwandtschaft der Stoffe zum chemischen Gleichgewicht wird im Lehrstück von Hans Ulrich Küng²¹⁸ thematisiert.

Wenn wir davon ausgehen, dass Lernprozesse von jedem Individuum wieder neu bewältigt werden müssen, dann muss ein Lehrer zweierlei tun, wenn er die Schwierigkeiten eines konkreten Themas verstehen und antizipieren will:

1. Er muss sich überlegen: Wie habe ich selbst diese Sache gelernt? Welche Schwierigkeiten musste ich dabei überwinden.
2. Dass alle Stoffe aus rund hundert Elementen aufgebaut sind, die im Periodensystem zusammengestellt sind, mussten die Chemiker ebenso lernen wie im Unterricht die Schüler. Die Elemente liegen nicht einfach so vor uns, sie mussten entdeckt werden, und daran waren viele Chemiker beteiligt. Theo Schulze spricht deshalb vom "kollektiven Lernereignis". Wenn ein Lehrer das kollektive Lernereignis studiert, sieht er, welche Schwierigkeiten überwunden werden mussten,

²¹⁷ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S.386

²¹⁸ Hans Ulrich Küng: Chemisches Gleichgewicht; In: Berg / Schulze: Lehrkunstwerkstatt II, S. 41 - 118

als das Thema in der Menschheit gelernt wurde. Viele dieser damals aktuellen Fragen und Denkweisen wird er bei den Schülern und Schülerinnen wieder antreffen. Ich halte den Begriff des „kollektiven Lernereignisses“ für bedeutsam und zentral in der Lehrkustdidaktik. Ich meine in unserem Beispiel nicht, dass sich die Lehrer in die Theorien der Alchemisten vertiefen müssten. Aber man sollte sich immerhin bewusst sein, dass die Idee, die Welt sei aus rund hundert Grundstoffen aufgebaut, nicht unmittelbar auf der Hand liegt, sondern dass sie erst entdeckt werden musste.

5. Dramaturgische Gestaltung

„Ein Drama ist ein in sich zusammenhängendes Handlungsgefüge. ...Es gliedert sich in Szenen und Akte. Diese gehen folgerichtig auseinander hervor; sie bilden eine Einheit, die sich entfaltet.“²¹⁹ Es geht bei der Ausarbeitung eines Lehrstücks darum, die „Inhalte in Handlungen zu verwandeln“²²⁰, die in einer sinnvollen Abfolge stehen und zusammen ein Ganzes bilden. Als Synopsis der schon erwähnten Inszenierungen bin ich zur folgender Gliederung gekommen:

Ouvertüre: Die Kerze

1. Akt: Was brennt?

2. Akt: Warum leuchtet die Kerzenflamme?

3. Akt: Was entsteht bei der Verbrennung?

4. Akt: Der Kreislauf: Verbrennung und Photosynthese

Die Gliederung entstand also nicht aufgrund einer Dramentheorie oder einer didaktischen Theorie, sondern aus der Erfahrung und Reflexion von mehreren konkreten Inszenierungen.

Die kritische Stelle ist der Übergang vom zweiten zum dritten Akt. Overtüre, erster und zweiter Akt können ohne chemische Kenntnisse erarbeitet werden. Dieser Teil eignet sich damit sehr gut als Einstieg in den Chemieunterricht (vgl. Aeschlimann: Die Kerze in einer vierten Klasse, und Aeschlimann: Die Kerze als Einstieg in den Chemieunterricht am Lehrerseminar). Der dritte Akt setzt dann chemische Grundkenntnisse voraus: Die Lernenden sollten den Unterschied zwischen Elementen (Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff) und Verbindungen (Wachs, Wasser, Kohlendioxid) kennen, und sie sollten eine Vorstellung haben, was bei einer chemischen Reaktion passiert (Stoffe werden umgewandelt, aber es geht nichts verloren), damit sie die Verbrennung richtig erfassen können. Theopel (Die Kerze in einer neunten Klasse in Wetzlar) konnte auf solche Kenntnisse zurückgreifen, ebenso auch Aeschlimann (Die Kerze mit Studenten und Studentinnen der Lehrerbildung; auch wenn die Kenntnisse - wie der Unterrichtsbericht zeigt - nicht weit trugen). Dass der Sprung vom ersten und zweiten Akt zum dritten und vierten Akt problematisch ist, wenn die Grundkenntnisse fehlen, zeigt sich besonders deutlich bei Johannsen, der im dritten und vierten Akt praktisch nur noch dozierend arbeiten konnte - und dabei die Schüler und Schülerinnen zum Teil auch überforderte, wie der missglückte Versuch mit den Zusammenfassungen zeigt. Aeschlimanns Versuch, die beiden ersten Akte als Einstieg und die beiden letzten Akte als Abschluss des Chemieunterrichts (siehe Seite 90: Die Kerze im Chemieunterricht am Lehrerseminar) zu inszenieren, hat sich in der Praxis auch nicht bewährt, denn die Schüler und Schülerinnen können den Zusammenhang aufgrund des langen

²¹⁹ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S.377

²²⁰ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S. 371

zeitlichen Abstands nicht herstellen, was aus den Rückmeldungen²²¹ deutlich hervorgeht.

Bei Faradays Vorlesung stellt sich dieses Problem nicht: In der dritten und vierten Vorlesung weist er Wasserstoff und Sauerstoff als Bestandteile von Wasser nach, zerlegt das Wasser mittels Elektrolyse in diese beiden Elemente und zeigt, wie sie in der Knallgas-Reaktion wieder zu Wasser reagieren.

Damit das Lehrstück (auch) am Anfang des Chemie-Unterrichts inszeniert werden kann - als Tor zum Eingang in das Studium der Natur (Faraday) -, muss das Problem des Übergangs vom zweiten zum dritten Akt gelöst werden: Wie können zu Beginn des dritten Aktes elementare Kenntnisse über Elemente, Verbindungen und chemische Reaktionen erarbeitet werden, ohne den Rahmen des Lehrstücks zu sprengen? Es geht nur darum, die Voraussetzungen zu schaffen, dass die Fragen: „Woher kommt der Kohlenstoff in der Flamme?“ und „Wohin geht er?“ sinnvoll diskutiert werden können. Es geht andererseits aber um ein Grundproblem der Chemie²²², das nicht einfach zu lösen ist.

²²¹ siehe Kapitel 5.2., S.197ff

²²² vgl. dazu Peter Buck und Markus Müller: Alaun aus Joghurtdeckeln; Chim.did. 2/99, S.155-187

3.4. Synopsis des Kerzenlehrstücks

3.4.1. Hartmut Klein: Die Kerze in einer 7. Klasse der Stiftsschule St. Johann in Amöneburg

Publiziert in: Neue Sammlung, Heft 1 / 1990, S.67-75
und Karl Binneberg, Pädagogische Fallstudien, 1997

1. Stunde

Hartmut Klein stellt eine Kerze auf den Tisch und zündet sie an. Er erzählt den Schülern und Schülerinnen, dass die Kerze das Thema der nächsten Stunden sei und dass jeder dazu eine eigene Kerze braucht, die in der zweiten Stunde hergestellt werden soll. Mit den Schülern und Schülerinnen zusammen überlegt Hartmut Klein, was für das Ziehen und Giessen von Kerzen alles benötigt wird. Dann zeigt er den Schülern und Schülerinnen verschiedene Kerzen: „Die apfelförmige Zierkerze, die gerollte Bienenwachskerze, ...unter grossem Gelächter die selbstgezogene, unförmig-hässliche Kerze und zum Schluss zwei liturgische Kerzen, eine Altarkerze und eine Taufkerze“ (S.70) Die Stunde endet mit einer Diskussion über die Bedeutung von Kerzen in der Kirche.

2. Stunde

„Es war eine Riesensauerei. Nachher haben wir lange Wachs von Tischen, Töpfen, Herden und Spülen abgekratzt. Aber es hat sich gelohnt: Jeder hat seine eigene Kerze hergestellt.“ (S.71)

3. Stunde

Die selber hergestellten Kerzen werden angeschaut, verglichen und dann angezündet. Es entsteht eine warme, fast festliche Stimmung. Das Feuer hat aber auch eine ganz andere Seite: eine zerstörende. Warum brennt die Kerze so ruhig? Als Hausaufgabe sollen die Schüler und Schülerinnen eine Kerze zeichnen. „Dazu bedarf es genauer Beobachtung und Beschreibung, nur dieses Mal nicht mit Worten, sondern mit Bleistift und Malkasten.“ (S.71)

4. Stunde

In einer Tafelzeichnung werden die Ergebnisse der Schülerzeichnungen, die verschiedenen Flammzonen (blau unten, dunkel in der Mitte, hell leuchtend aussen und an der Spitze) festgehalten. Dann beginnt das naturwissenschaftliche Nachdenken mit der Frage vom Schluss der letzten Stunde: warum die Kerze mit kleiner, ruhiger Flamme brenne. „Die Stunde vergeht wie im Flug; die Gedanken springen hin und her. Dann, ganz langsam drängen sie in eine Richtung: Was brennt denn eigentlich? Ist es das Wachs? - Oder ein geheimnisvolles Gas, das in dem blauen Schimmer seine Existenz verrät? - Oder ist es der Docht, der ja an seinem Ende glüht? - Verhindert das Wachs nur, dass der Docht nicht zu schnell herunterbrennt? – Aber wird nicht auch das Wachs weniger?“ (S.72/73)

5. und 6. Stunde

„Diese beiden Stunden an aufeinanderfolgenden Tagen stehen unter der Frage, die sich aus dem Hin und Her der letzten Stunde herauskristallisiert hat: Was brennt denn eigentlich in einer Kerzenflamme?“ (S.73) Der Flammensprung führt auf die Spur des Wachsdampfes. In einer Porzellanschale wird Wachs erhitzt und der Dampf angezündet. Mit einem Drahtgitter, waagrecht in die Kerzenflamme hineingehalten, kann der Wachsdampf sichtbar gemacht werden - und mit einiger Geschicklichkeit gelingt es, ihn über dem Drahtgitter anzuzünden: ein kleines

Flämmchen schwebt dann frei in der Luft. Hartmut Klein führt zum Schluss dieser Sequenz noch zwei Experimente vor: Ein Glasrohr leitet den Wachsdampf aus der Flamme hinaus. Der Wachsdampf wird am Ende des Glasrohrs angezündet, in einem zweiten Experiment dann in einem Erlenmeyerkolben gesammelt. „Wir sind uns sicher: Das Wachs kommt nicht nur im festen und flüssigen Zustand vor, sondern auch im gasförmigen. Der Wachsdampf entströmt dem Docht, und es ist dieser Dampf, der mit heller Flamme verbrennt.“ (S.73)

7.Stunde (70 Minuten)

Die Hitze der Flamme schmilzt das feste Wachs. Warum schmilzt nicht die ganze Kerze? Mit einer Schattenprojektion wird sichtbar, wie die heiße Luft aufsteigt. Die nachströmende kalte Luft kühlt den Rand um den Wachssee. „Der Docht saugt sich voll und zieht das flüssige Wachs nach oben. Dort ist es noch heißer und das Wachs wird zu Dampf,“ formuliert ein Schüler. Hartmut Klein zeigt den Schülern das Aufsteigen, indem er eine Wandtafelkreide in Petroleum stellt. Sie saugt sich voll und kann dann oben angezündet werden.

„Am Schluss dieses Kurses sollen die Schüler das Gelernte noch einmal zusammenfassen, und zwar auf eine für den Physikunterricht ungewöhnliche Weise: Auf einem Papier überreiche ich ihnen den Anfang eines Märchens und sie haben die Aufgabe, es zu Hause weiterzudichten“. In diesem Märchen geht es um einen Streit zwischen Docht, Flamme, festem und flüssigem Wachs.

3.4.2. Eberhard Theophel: Die Kerze in einer 9.Klasse der Kestner-Gesamtschule in Wetzlar

Publiziert in: Berg / Schulze, Lehrkunst, S.288-304

1.Doppelstunde: Der Flammensprung - dampfförmiges Wachs

Die Schüler und Schülerinnen zünden Kerzen an und beschreiben die Flamme. Ein Mädchen zeichnet die Kerzenflamme an die Tafel. Dann erzählt Theophel den Schülern und Schülerinnen von Faradays Vorlesung. Er führt ihnen den Flammensprung vor, den die Schüler und Schülerinnen auch selber ausprobieren dürfen. Woher kommt dieser weisse Rauch? Um zu prüfen, ob es Wachsdampf ist, wird Wachs in einer Eisenschale kräftig erhitzt und der entstehende Dampf angezündet. In einer Zeichnung werden die verschiedenen Aggregatzustände des Wachses bei der Kerze eingezeichnet: das feste Wachs der Kerze, das flüssige Wachs im See oben an der Kerze und das gasförmige Wachs beim Docht. Die Schüler und Schülerinnen vermuten, dass die dunkle Zone im Innern der Flamme Wachsdampf enthält. Ein Holzstab, quer in die Flamme gehalten, zeigt nur am Rand der Flamme Brandspuren, ein Hinweis, dass die Vermutung zutreffen könnte.

2.Doppelstunde: Der Blick in das Innere der Kerzenflamme

Woher kommt der Wachsdampf? Ein Drahtnetz wird langsam in die Flamme herabgesenkt bis zum Docht und damit bestätigt, dass die dunkle Zone der Flamme Wachsdampf enthält. Der aufsteigende Wachsdampf kann angezündet werden. Ein zartes Flämmchen schwebt einige Zentimeter über dem Gitter. Hält man das Gitter weiter oben in den leuchtenden Teil der Flamme, so steigt ein schwarzer Rauch auf.

Theophel klärt dann noch die Frage nach der Funktion des Dochts: Er saugt das flüssige Wachs aus dem See in die Brennzone. Das Saugen beruht auf der Kapillarkraft, die Theophel mit weiteren Experimenten (gefärbtes Wasser in dünnen Glasröhrchen, Tafelkreide in Heizöl) den Schülern und Schülerinnen demonstriert.

3.Doppelstunde: Wachsdampf aus der Kerzenflamme

Wachsdampf soll aus dem Innern der Flamme in einen Glaskolben abgeleitet werden. Die Schüler und Schülerinnen biegen zu diesem Zweck Glasröhrchen, die sie dann ins Innere der Flamme halten. Wie ein dichter Nebel sinkt der Wachsdampf in den Glaskolben. Die Öffnung des Glaskolbens wird dann an die Flamme des Brenners gehalten, worauf eine Flamme in den Kolben hineinschlägt und den Wachsdampf verbrennt. Der Wachsdampf kann auch durch ein Glasröhrchen geleitet und an seinem Ende angezündet werden. Infolge der intensiven Schülerexperimente ist die Doppelstunde rasch vorbei.

4.Doppelstunde: Feuerwerk und leuchtender Russ

Der Russ im leuchtenden Teil wurde schon mit dem Drahtnetz entdeckt und lässt sich auch leicht zeigen, wenn ein weisses Porzellanschälchen von der Flamme geschwärzt wird. Theophel führt zu dieser Thematik noch ein verblüffendes Experiment vor: Er beleuchtet die Kerzenflamme mit einem Diaprojektor. Der leuchtende Teil der Flamme wirft infolge des Russes einen dunklen Schatten, während die dunkle innere Zone das Licht durchlässt. Und noch etwas lässt sich mit diesem Experiment zeigen: die Luftstömung.

Um zu beweisen, dass der Russ für das helle Leuchten der Flamme verantwortlich ist, bläst Theophel Russ in die blaue Flamme des Bunsenbrenner, sie beginnt zu leuchten. Zum Schluss der Doppelstunde wird eine brennende Kerze in ein mit Sauerstoff gefülltes Glas gehalten. Die Flamme leuchtet hell auf, was zeigt, wie wichtig der Sauerstoff für die Verbrennung ist.

5.Doppelstunde: Aus Russ wird Kohlendioxid

Was geschieht mit dem Russ in der Flamme? Die Schüler und Schülerinnen vermuten, dass er verbrennt. Sie wissen, dass bei der Verbrennung ein Oxid entsteht. Aus dem Kohlenstoff müsste also das gasförmige Kohlendioxid entstehen. Theophel zeigt den Schülern, dass man Kohlendioxid mit Kalkwasser nachweisen kann. Die Verbrennungsgase werden deshalb abgesaugt und durch Kalkwasser geleitet. Die Trübung beweist, dass bei der Verbrennung tatsächlich Kohlendioxid entsteht.

Wachsdampf ist weiss, Kohlenstoff schwarz. Das bedeutet, dass Wachs eine chemische Verbindung ist, welche Kohlenstoff enthalten muss. Mit welchem anderen Stoff ist er im Wachs verbunden? Diese Frage soll in der nächsten Doppelstunde beantwortet werden.

6.Doppelstunde: Feuerwasser und Kerzenkreislauf

Ein grosses, trockenes Becherglas wird über eine brennende Kerze gehalten. Man sieht, dass es sich beschlägt. Wasser? Um grössere Mengen zu erhalten, werden die Verbrennungsgase wieder abgesaugt. Diesmal werden sie nicht durch Kalkwasser geleitet, sondern durch ein mit Eiswasser gekühltes Glasrohr. Durch die Abkühlung kann der bei der Verbrennung entstehende Wasserdampf kondensieren, und mit weissem Kupfersulfat kann man zeigen, dass es sich tatsächlich um Wasser handelt. Wasser ist eine Verbindung aus Wasserstoff und Sauerstoff, das ist den Schülern bekannt. Der gesuchte Partner des Kohlenstoffs im Wachs muss also der Wasserstoff sein.

Zum Schluss zeigt Theophel seinen Schülern und Schülerinnen den Kreislauf: Bei der Verbrennung entsteht Wasser und Kohlendioxid. Aus diesen beiden Stoffen können Pflanzen mit Hilfe des Sonnenlichts wieder Sauerstoff herstellen. Und aus den Pflanzen kann Erdöl entstehen, aus dem dann wieder das Paraffin für die Kerzen gewonnen wird.

3.4.3. Ortwin Johannsen: Die Kerze in einer 9.Klasse der Ecole d'Humanité in Goldern

Unveröffentlicht

Montag: Faradays Flammensprung: Johannsen hat ein grosses Bild von Faraday aufgehängt und erzählt den Schülern und Schülerinnen von dessen Weihnachtsvorlesung. Dann führt er den Flammensprung vor. Die Schüler und Schülerinnen staunen und probieren den Flammensprung selber. Dabei fragt Helen: „Was brennt denn eigentlich?“ Die Frage löst eine Diskussion aus, ohne Resultat. Deshalb schlägt Johannsen vor, in einem Schälchen Wachs zu erhitzen. Es verdampft und kann angezündet werden, wundervolle Flammenzungen schlagen über dem flüssigen Wachs empor.

Dienstag: Im Flammeninnern: Kann man den Wachsdampf bei der brennenden Kerze finden? Reto vermutet, dass der Wachsdampf aus dem Docht kommt. „Man müsste die Flamme durchschneiden, um ihn zu sehen“. Mit einem Drahtgitter, das in die Flamme hineingehalten wird, gelingt das, und dabei kann man sehen, dass die Flamme nur aussen leuchtet, während aus der Mitte der weisse Dampf aufsteigt. Kann man ihn anzünden? „Wir halten einen brennenden Span in ihn, und auf einmal entsteht aus dem Dampf eine zweite kleine Flamme, die über meinem Gitter auf und ab tanzt.“ Natürlich wollen das alle ausprobieren. Kann man den Wachsdampf einfangen? Mit einem gebogenen Glasrohr, das mitten in die Flamme hineingehalten wird, gelingt es, den weissen Dampf in einen Glaskolben zu leiten. Man kann den aufgefangenen Wachsdampf aus dem Glaskolben wieder in die Flamme giessen: Mit einer Stichflamme verbrennt er.

Mittwoch: Wer formt und färbt die Kerzenflamme?: Warum brennt die Flamme immer nach oben? Die Betrachtung des Schattens einer Kerzenflamme stellt zuerst noch weitere Fragen: Warum sieht man auch über der Flamme, wo wir nichts sehen, einen feinen Schatten? Und warum bildet gerade der leuchtende Teil der Flamme den dunkelsten Schatten? Die erste der beiden Fragen führt zur Erkenntnis des Luftstroms, der der Flamme ihre Form gibt und den Rand der Kerze kühlt. Die zweite Frage führt zur Entdeckung des Russes in der Flamme. Woher kommt dieser Russ?

Donnerstag: Wachs - woher, wohin?: Im leuchtenden Teil der Flamme hat es Russ. Warum ist sie nicht schwarz? Patric weiss es: „Russ ist Kohlenstoff, und durch die Hitze der Flamme glüht dieser Kohlenstoff“. Um diese Erklärung zu beweisen, bläst Johannsen Russ in Form von feinem Pulver in die nicht leuchtende Flamme eines Bunsenbrenners. Die Flamme beginnt zu leuchten. Woher kommt der Russ? Die Schüler und Schülerinnen vermuten, dass er aus dem Docht kommt. Aber wenn wir Wachs im Schälchen erhitzen und anzünden, brennt es ohne Docht, und auch hier entsteht der schwarze Russ. Der Russ muss also aus dem Wachs stammen. Und wohin geht er nach der Verbrennung? Kann man ihn einfangen? Dazu wird ein Becherglas über die brennende Kerze gestellt. Man findet aber nicht den Russ, sondern beobachtet, dass sich das Glas beschlägt. Patric weiss auch warum: bei der Verbrennung entsteht Wasser und Kohlendioxid. Den anderen Schülern und Schülerinnen ging das zu schnell, sie haben das nicht verstanden.

Freitag: Die Kerze im Kreislauf der Welt - die Kreisläufe der Welt in der Kerze: Ist es möglich, dass aus dem Feuer Wasser entsteht? Johannsen zeigt ein Fläschchen mit Wasser, das während drei Stunden aus einer Kerzenflamme gewonnen

wurde. Woher kommt dieses Wasser: aus der Kerze? oder aus der Luft? Nein. Es entsteht aus beiden bei der Verbrennung: Der Wasserstoff aus dem Wachs verbindet sich mit dem Sauerstoff aus der Luft. Und der zweite Bestandteil des Wachses, der Kohlenstoff, verbindet sich ebenfalls mit dem Sauerstoff zu Kohlendioxid. Das ist noch nicht für alle verständlich, und Johannsen beschreibt es deshalb nochmals: „Vor langer Zeit hatte sich der Kohlenstoff mit dem Wasserstoff verbunden“ In der Hitze des Feuers trennten sich die beiden, und sowohl der Kohlenstoff als auch der Wasserstoff verbanden sich nun mit dem Sauerstoff aus der Luft. Und dann kommt Johannsen zur Photosynthese: „Die Zeit der Trennung war nicht für ewig, denn der Kohlenstoff und der Wasserstoff wurden in einem kleinen grünen Blatt wieder zusammengeführt. ... Um sich wieder verbinden zu können, bedurfte es noch einer Gegenkraft zu der scheidenden Kraft des Feuers, und diese bestand ... in dem hellen Sonnenlicht. ... So schliesst sich dieser Kreislauf immer wieder, der durch zwei grosse Kräfte der Natur bewegt wird: Auf der einen Seite die Feuer-Scheidung (Pyro-lyse) auf der andern Seite die Licht-Verbindung (Photo-synthese).“

Samstag: Faradays Kerze und meine Kerze: Als Hausaufgabe hätte jeder Schüler und jede Schülerin eine Zusammenfassung des Kerzenunterrichts schreiben sollen. Die Aufgabe erwies sich aber als zu schwierig, so dass Johannsen seine eigene Fassung vorlas. Zum Abschluss des Kurses formulierten die Schüler und Schülerinnen, was sie an der Kerze besonders beeindruckt hatte. „Es waren vor allem die vielen kleinen verblüffenden Experimente: der Flammensprung, der Tanz der Flamme, der Hohlraum inmitten der Flamme, die Dampfleitung. Es war aber auch das Bild wie sich - so formulierte es Nathalie - die Kerze in den Weltrhythmus einfügte.“

3.4.4. Vergleich der Kerzen-Inszenierungen von Klein, Johannsen und Theophel

1. Der Beginn

Kleins Annäherung an die Kerze ist sehr sorgfältig und behutsam: Er zeigt den Schülern und Schülerinnen verschiedene Kerzen, diskutiert mit ihnen über die Bedeutung der Kerze in der Kirche, bespricht die Herstellung und lässt die Schüler und Schülerinnen schliesslich selber eine Kerze herstellen. Johannsen beginnt mit einem grossen Bild von Faraday. Ich kann mir nicht vorstellen, warum junge, aufgeweckte Menschen von diesem Forscher aus dem letzten Jahrhundert gepackt werden sollen. Ich denke, dass sich die Schüler und Schülerinnen zuerst selber mit der Kerze auseinandersetzen sollten, bevor ihnen gezeigt wird, wie der berühmte Forscher Faraday die Kerze ins Zentrum seiner Vorlesung stellt. Die Schüler und Schülerinnen können dann sehen, dass Faraday dieselben Experimente vorführt, die sie im Unterricht auch gesehen, zum Teil sogar selber erfunden haben. Faraday gehört meines Erachtens nicht an den Anfang, auch bei Theophel kommt er zu früh. Immerhin lässt Theophel vorher noch eine Wandtafelzeichnung der Kerzenflamme erstellen und schafft so einen sinnlichen Einstieg in das Thema.

2. Der 1. und 2. Akt: der naturwissenschaftliche Blick

Hier finden sich in den drei Inszenierungen viele Gemeinsamkeiten: der Flammensprung, Wachs im Schälchen erhitzen, Drahtgitter und tanzende Flamme, Schattenprojektion und Luftströmung. Bei Klein wurde das Thema „Russ in der Flamme“

weggelassen, wohl auch im Hinblick darauf, dass die Verbrennung in seiner Inszenierung nicht besprochen wird. Bei Johannsen fehlt die Funktion des Dochts.

3. Der 3.Akt: Die Verbrennung als chemische Reaktion

Der Übergang vom ersten und zweiten Akt zum dritten Akt ist eine der schwierigsten Stellen des Lehrstücks, denn der dritte Akt ist ohne gewisse Grundkenntnisse der Chemie (was sind Elemente? was ist eine Verbindung? was passiert bei einer chemischen Reaktion?) kaum zugänglich. Klein verzichtet in seiner Inszenierung auf die Akte drei und vier (vgl. Aeschlimann in der 4.Klasse), Johannsen schafft den Übergang nur, indem er selber sehr viel erklärt - und es scheint, dass auch so einige Schüler und Schülerinnen Mühe hatten -, und Theophel kann auf Grundkenntnisse aus dem vorangehenden Chemieunterricht zurückgreifen.

4. Der 4.Akt: Der Kreislauf

Bei Johannsen ist dieser Kreislauf sehr sorgfältig inszeniert: Er erzählt die Geschichte des Wasserstoffs und des Sauerstoffs, die im Wachs miteinander verbunden sind, durch das Feuer geschieden werden und in der Photosynthese wieder vereinigt werden. Mit Zeichnungen wird der Kreislauf veranschaulicht.

Bei Theophel wird der Kreislauf am Schluss des Kurses gewissermassen angehängt. Man spürt, dass dem Lehrer die chemischen Kenntnisse wichtiger sind als der symbolische Gehalt, der in Faradays Vorlesung angelegt ist.

5. Der Schluss

Der sorgfältig überlegte Beginn eines Lehrstücks ist wichtig für die Motivation. Für den Lernerfolg ist aber ein Abschluss wichtig, der das Lehrstück abrundet und zusammenfasst: „Was uns von einer Aufführung [im Theater, U.A.] am längsten in Erinnerung bleibt, in uns weiterarbeitet, ist häufig der gekonnte Schluss.“²²³ Klein lässt die Schüler und Schülerinnen am Schluss ein Märchen erfinden, in dem Flamme, Docht und Kerze miteinander diskutieren. Mir gefällt diese kreative Idee der Zusammenfassung. Johannsen schliesst ab mit der Aufgabe, eine Zusammenfassung des Kerzenkurses zu schreiben. Leider erweist sich die Aufgabe als zu schwierig, so dass Johannsen seine eigene Zusammenfassung vorlesen muss. Bei Theophel endet das Lehrstück mit der Besprechung des Kreislaufs. Ein Zurückblicken auf das ganze Lehrstück fehlt.

²²³ Hans Glöckel: Auch Aufhören will gekonnt sein. Unterrichten / Erziehen, 2/93, S.8

3.4.5. Das resultierende Lehrstück

Aus den beschriebenen Inszenierungen habe ich ein resultierendes Lehrstück zusammengestellt, das in der folgenden Tabelle dargestellt ist. Ich habe das Lehrstück in eine Ouvertüre und in vier Akte unterteilt. Auf der linken Seite sind Experimente und Themen aufgeführt, die das Grundgerüst des Lehrstücks bilden und die in einer Inszenierung im Prinzip nicht fehlen dürften. Auf der rechten Seite sind zusätzliche Themen und Experimente aufgeführt.

Ouvertüre: Die Kerze

Kerzen herstellen	Religiöse Bedeutung	Flamme zeichnen	Flammen- sprung	Faradays Vorlesung	Märchen
----------------------	------------------------	--------------------	--------------------	-----------------------	---------

1. Akt: Was brennt: das Wachs oder der Docht?

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Wachs im Schälchen erhitzen • Aggregatzustände • Der Flammensprung • Wachsdampf in der Flamme:
Tochterflamme und
Wachsdampf im Glas sammeln • Drahtnetz in die Flamme halten,
Flammentanz • Die Funktion des Dochts | <ul style="list-style-type: none"> • Löschversuche • Volumenveränderung • Temperatur in der Flamme:
innen kühler, am Rand und
im gelben Teil heiss • Kapillaren |
|--|---|

2. Akt: Warum leuchtet die Kerzenflamme?

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Die blaue und die gelbe
Bunsenbrennerflamme
Flamme • Die gelbe Flamme russt • Russ in die blaue Flamme blasen • Projektion der Flamme:
der Schatten der Russteilchen,
der Luftzug | <ul style="list-style-type: none"> • Sauerstoff zur Verbrennung,
Stickstoff zur Bändigung der • Die blaue Flamme von Brennsprit • Metalle in die Flamme blasen • Die Kühlung am Rand des Wachs-
sees. |
|--|---|

3. Akt: Was entsteht bei der Verbrennung?

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Nachweis von Wasser • Nachweis von Kohlendioxid • Die Reaktionsgleichung der Verbrennung
in Worten | <ul style="list-style-type: none"> • mit Formeln |
|--|---|

4. Akt: Der Kreislauf: Verbrennung und Photosynthese

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Verbrennung und Photosynthese • Verbrennung und Atmung • Tier- und Pflanzenwelt ergänzen sich | <ul style="list-style-type: none"> • Bienenwachs, Paraffin,
Talg und Stearin • Gedicht von Nietzsche |
|---|--|

Ouvertüre

„.. und schwerlich möchte sich ein bequemer Tor zum Eingang in das Studium der Natur finden lassen,“ sagt der berühmte Physiker und Chemiker Michael Faraday 1861 am Anfang seiner sechsteiligen Vorlesung über die Kerze.²²⁴ Aber Faraday doziert, während in unserer Vorstellung von Unterricht die Schüler und Schülerinnen aktiv sein sollen.



Martin versucht den Flammensprung, aufmerksam beobachtet von Rahel, Bettina und Andrea. (aus einer Inszenierung am Lehrerseminar, 10.Klasse)

Wie soll man anfangen? Wagenschein sagt: „Am Anfang braucht es ein Phänomen, über das man stolpert, man wundert sich.“²²⁵ Er würde deshalb wohl mit dem Flammensprung anfangen²²⁶. Bei Johannsen kann man sehen, wie der überraschende Sprung der Flamme von einem brennenden Span durch den weissen Wachs Dampf auf die ausgeblasene Kerze eine Gruppe faszinieren und in die Sache hineinlocken kann. Hartmut Klein beginnt mit der Bedeutung der Kerze in der Kirche und fährt dann fort mit dem Kerzenziehen. Auch dieser Einstieg gefällt mir gut, weil er nicht gleich mit der naturwissenschaftlichen Betrachtungsweise anfängt, sondern das weite Feld des Themas „Kerze“ öffnet.

Ich denke, dass man auch mit dem Märchen anfangen könnte, das ich im Kurs mit den Studenten und Studentinnen am Schluss erzählt habe.²²⁷ Dieser Anfang ist aber noch nie erprobt worden. Ich habe in meinen Kursen immer mit dem Zeichnen der Flamme aus der Erinnerung angefangen, meistens indem die Schüler und Schülerinnen die Flamme auf ein Blatt Papier gezeichnet haben und wir dann gemeinsam diese Zeichnungen angeschaut haben²²⁸, gelegentlich auch, indem wir gemeinsam eine Kerzenflamme an die Wandtafel gezeichnet haben. Man gerät dabei ins Stolpern²²⁹: Die Flamme ist gelb, aber es gibt doch auch blau, nur: Wo soll man blau zeichnen? Und gibt es bei der Kerzenflamme auch das Rot, das wir vom offenen Feuer kennen? Wie zeichnet man den Docht: Geht er in die Flamme hinein? Wieviel? Man kommt dann ganz natürlich zur Frage: Was brennt? Das

²²⁴ Michael Faraday: Naturgeschichte einer Kerze. Herausgegeben von P.Buck, Verlag B.Franzbecker, 1979

²²⁵ Martin Wagenschein, Video-Aufzeichnung. Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht, 1988

²²⁶ vgl Peter Labudde: Erlebniswelt Physik, S.

²²⁷ vgl. Kapitel 3.2.2. , S.88.

²²⁸ vgl Unterrichtsberichte

²²⁹ „Obwohl ich schon vor vielen Weihnachtsbäumen mit unzähligen brennenden Kerzen gesessen bin, merkte ich bald, wie schwierig diese Aufgabe war.“ J.Rüedi in seinem Bericht über einen Kurs in Liestal, 1992 (Basellandschaftliche Schulnachrichten Nr.5 / 1992, S.22 / 23)

Wachs oder der Docht? Und schon ist man mitten im sokratischen Gespräch und gleichzeitig auch im ersten Akt.

1.Akt: Was brennt: das Wachs oder der Docht?

Kann Wachs auch ohne Docht brennen? Wir erwärmen Wachs in einem kleinen Schälchen, es schmilzt. Wir versuchen, das flüssige Wachs mit einem Zündhölzchen anzuzünden, es gelingt nicht. Aber dann, wenn wir mit dem Gasbrenner genügend erhitzt haben, beginnt ein weisser Rauch aufzusteigen, dampfförmiges Wachs, und dieses lässt sich entzünden, lodernde, wilde Flammen schlagen aus dem Schälchen empor. Das Feuer wird gelöscht, indem das Schälchen mit einem Deckel verschlossen wird. Man kann hier zeigen, dass man keinesfalls mit Wasser löschen darf: Eine grosse Stichflamme entsteht, wenn man Wasser auf das brennende Wachs giesst. Der Versuch ist gefährlich und benötigt entsprechende Vorsichtsmassnahmen (im Freien durchführen, genügend Abstand halten).

Wachs kann also brennen, wenn es gasförmig ist. Meist erinnert sich dann jemand: Wenn ich die Kerze ausblase, entsteht auch dieser weisse Rauch. Kann man den auch anzünden? Wir probieren es, blasen eine Kerze aus, halten ein brennendes Zündholz in den weissen Rauch, und zur Überraschung springt die Flamme aus einiger Entfernung auf den Docht zurück. Nun liegt nahe: Der Wachsdampf kommt aus dem Docht. Vielleicht bildet er die dunkle Zone im Innern der Flamme. Kann man das prüfen? Wir halten ein Glasröhrchen ins Innere der Flamme und beobachten, wie der weisse Wachsdampf durch das Röhrchen emporsteigt, und wenn er oben aus dem Röhrchen austritt, kann man ihn anzünden! An dieser Stelle habe ich dann immer noch einen zweiten Versuch vorgeführt: Mit einem gebogenen Glasröhrchen kann man den Wachsdampf in ein Glasgefäss leiten. Ein dünner Strahl fliesst dann auf den Boden des Gefässes und sammelt sich dort als Nebelmeer. Man kann den Nebel in die Flamme giessen, wo er wie bei einem feuerspeienden Drachen entflammt.



Murielle, Manuela, Rachel , Bettina und Andrea staunen, wie der weisse Wachsdampf durch das Glasrohr in das Gefäss fliesst.

Manchmal taucht schon beim Betrachten der Flamme nach dem Zeichnen die Frage auf, ob der leuchtend gelbe Teil der Flamme oder der dunkle innere Teil heisser sei. Man kann ein Holzstäbchen in die Flamme halten: Im dunklen Teil verbrennt es nicht, während es am Rande der Flamme schwarze Brandspuren hat. Und dann kann man auch ein dünnes Metallgitter in die Flamme halten. Erstaunlicherweise geht das Feuer nicht durch das Gitter hindurch. Die Flamme ist wie

abgeschnitten, von oben sieht man einen Ring - dort wo die Flamme brennt -, und aus der Mitte, der dunklen Zone, strömt der weisse Dampf. Und so kommt man dann auf einem andern Weg zum Wachsdampf. Mit einiger Übung gelingt es, den Wachsdampf über dem Gitter zu entzünden. Man sieht dann ein schwebendes, tanzendes Flämmchen – ein wunderbares Experiment!

Wozu braucht die Kerze denn einen Docht? Er saugt das flüssige Wachs auf. Man kann das als Eigenschaft des Dochts so stehen lassen, oder man kann auf die Frage eingehen: Wie macht er das? Und man kommt dann zum Thema Kapillarkräfte. Durch die Wärme der Flamme wird das vom Docht aufgesaugte Wachs verdampft und brennt. Und weil der Flamme durch den Docht regelmässig Wachsdampf zugeführt wird, entsteht die ruhige Flamme der Kerze im Unterschied zum wilden, ungezähmten Feuer (beim brennenden Wachs im Schälchen oder beim Verbrennen von Holz). Festes Wachs bei der Kerze, flüssiges Wachs, das vom Docht aufgesaugt wird, und dampförmiges Wachs: eine gute Gelegenheit, die Aggregatzustände und ihre Übergänge (schmelzen, verdampfen, kondensieren, erstarren) zu betrachten. Und man kann an dieser Stelle auch zeigen: Wenn Wasser gefriert, braucht es mehr Platz - eine mit Wasser gefüllte Flasche, im Winter draussen stehen gelassen, springt. Beim Wachs ist es umgekehrt: Beim Erstarren von flüssigem Wachs entsteht ein Krater.

2.Akt: Warum leuchtet die Kerzenflamme?

Zwei gleiche Gasbrenner stehen auf dem Tisch. Wenn man sie anzündet, brennt der eine mit blauer, der andere mit leuchtend gelber Flamme. Während Kinder hier ihrer Fantasie freien Lauf lassen können ²³⁰, wissen Erwachsene aus der Erfahrung schon, wo man suchen muss: Mit der Luftzufuhr kann man das regulieren. Aber wie funktioniert das genau? Und vor allem: Warum leuchtet die eine Flamme, woher kommt ihre goldgelbe Farbe? Die gelbe Flamme russt, während die blaue den Russ aufzehrt. Kann der schwarze Russ etwas mit dem Leuchten zu tun haben - vielleicht wenn er glüht? Wir blasen Russteilchen in die blaue Flamme und sehen, dass sie leuchten. Als Attraktion kann man statt Russ auch Metallpulver in die Flamme blasen: Eisen ergibt wie Russ eine gelbe Farbe, Kupfer färbt die Flamme grün, und mit Magnesium entstehen funkelnde, weisse Sternchen. Als Ergänzung kann man hier die Flamme von Brennsprit betrachten: Ein kleiner See von Brennsprit brennt mit blauer Flamme. Ein interessantes Schauspiel bietet auch ein kleiner See einer Wasser-Alkohol-Mischung: Am Rand des Sees löschen die Flammen aus, züngeln dann wieder usw. wie ein Drache, der Feuer speit.

Wir beleuchten dann die Flamme mit einem Diaprojektor: Der gelbe, leuchtende Teil der Flamme wirft einen dunklen Schatten - ja, das sind die Russteilchen, die das Licht verschlucken. Und der innerste Teil der Flamme zeigt sich im Schattenbild als helle Zone: Das gasförmige Wachs lässt das Licht hindurch. Überraschung dann beim Ausblasen: Der weisse Wachsdampf wirft einen dunklen Schatten. Ein Widerspruch zur hellen Zone des Flammeninnern? Nein, aber die Lösung ist nun schon sehr versteckt: Im Flammeninnern ist das Wachs wirklich gasförmig. Der weisse Rauch, den wir sehen, ist aber nicht Wachsdampf, wie wir anfänglich gesagt hatten, sondern Wachsnebel, feinste Wachströpfchen, und deshalb floss dieser Nebel auch durch das Glasröhrchen und liess sich auffangen. Und wenn man ganz genau hinschaut beim Ausblasen einer Kerze, dann kann man das sehen: Direkt

²³⁰ siehe dazu: U.Aeschlimann: Warum leuchtet die Kerzenflamme? S. 10. Schriftenreihe der Schweizerischen Wagenschein-Gesellschaft, Heft 4, 1993

über dem Docht ist das Wachs noch gasförmig und deshalb nicht sichtbar, erst ein paar Millimeter weiter oben beginnt der weisse Rauch, erst wenn das Gas zu Tröpfchen kondensiert ist. Die Projektion zeigt uns noch ein Weiteres: Die aufsteigende heisse Luft, als Schlieren, wie im Sommer über der heissen Strasse. Wenn die heisse Luft oben wegströmt, muss von unten neue, unverbrauchte und kühlere Luft zufließen. Sie führt der Kerze frischen Sauerstoff zu und kühlt gleichzeitig den Rand des Wachssees, so dass sich ein Schälchen bildet und das flüssige Wachs nicht davonfließt. Wahrlich, ein technisches Wunderwerk diese Kerze! Sauerstoff ist der eine wichtige Bestandteil unserer Luft. Er macht aber nur etwa einen Fünftel aus, während rund vier Fünftel Stickstoff sind. Auch er hat bei der Kerze eine Bedeutung, obwohl er an der Verbrennung nicht beteiligt ist: Enthielte die Luft nur Sauerstoff, wäre die Verbrennung viel zu stark, und die Kerze würde schmelzen.

3.Akt: Was entsteht bei der Verbrennung?

Wenn die Kerze brennt, wird sie immer kleiner. Wo geht das Wachs hin? Die Frage ist deshalb schwierig, weil wir die Verbrennungsprodukte nicht sehen können. Es ist das unsichtbare, geruchlose Kohlendioxid, und es ist Wasser, das als Feuchtigkeit in der Luft ebenfalls nicht zu sehen ist. Wasser kann mit einer Kühlfalle und von Kohlendioxid mit einer Waschflasche und Calciumlauge nachgewiesen werden. Erstaunlich: Wenn man ausrechnet, wieviel Wasser entsteht, dann findet man heraus, dass aus 1 Gramm Wachs beim Verbrennen mehr als 1 Gramm Wasser entsteht. Man darf aber eben nicht vergessen, dass für die Verbrennung von 1 Gramm Wachs auch rund 3 Gramm Sauerstoff verbraucht werden. Lavoisier hat uns gezeigt: Wenn wir eine chemische Reaktion in einem geschlossenen Gefäss durchführen, dann bleibt die Masse erhalten.²³¹

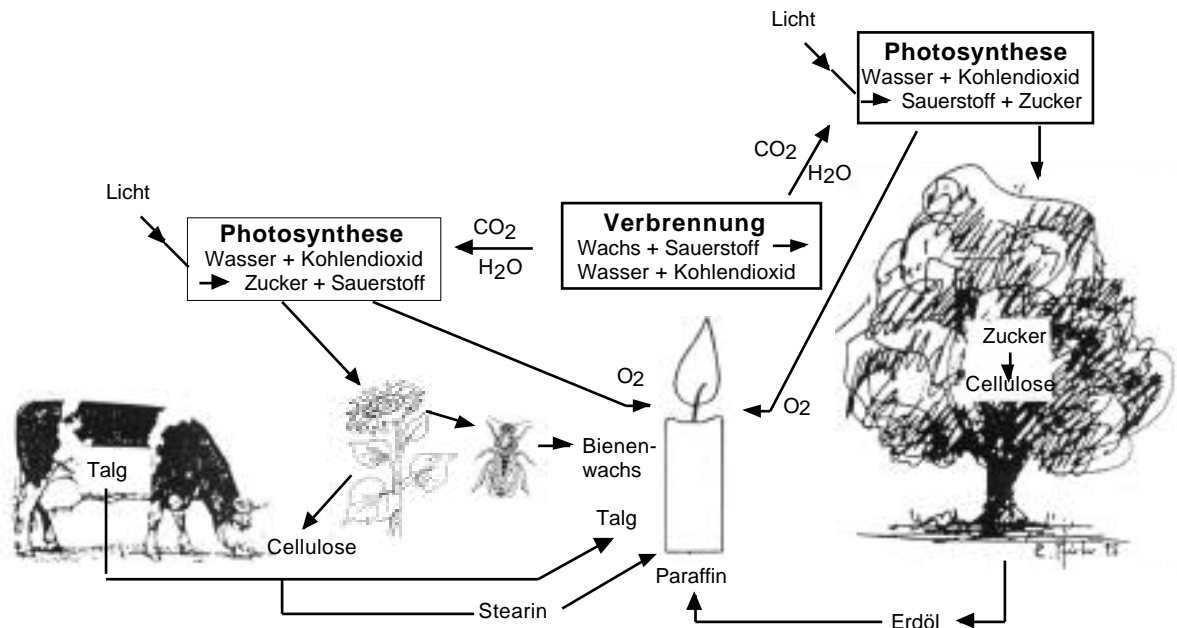
4.Akt: Der Kreislauf: Verbrennung und Photosynthese

Die Kerze produziert bei der Verbrennung Wasser und Kohlendioxid. Die Pflanzen können aus diesen beiden Stoffen durch die Photosynthese Zucker und Sauerstoff bilden. Und aus dem Zucker können dann in teilweise komplizierten Prozessen die Ausgangsstoffe für die Kerzen gebildet werden: das Bienenwachs, das wir schon lange als edlen Kerzenstoff kennen, der Talg, der früher, als man das elektrische Licht noch nicht kannte, für die Beleuchtung ganz wichtig war. Heute sind Stearin, das aus dem Talg gewonnen wird, und das Paraffin, das aus dem Erdöl kommt, die wichtigsten Grundstoffe für die Kerzenherstellung.

Das Bild auf der folgenden Seite zeigt uns die Abhängigkeit des Menschen von der Natur. Faraday schreibt dazu: „Und so sind wir Menschen nicht nur von unseren Nebenmenschen abhängig, sondern von allen Geschöpfen, die neben uns auf dieser Erde leben; wir sind mit der Natur zu einem grossen Ganzen verbunden durch die Gesetze, nach denen jeder Teil zum Wohle des anderen beiträgt.“²³²

²³¹ Lavoisier formulierte auch die Theorie der Verbrennung als Reaktion mit dem Sauerstoff der Luft. Er war nicht nur Chemiker, sondern auch Steuereinnahmer des Königs, was ihm in der französischen Revolution unter der Guillotine das Leben kostete.

²³² Faraday: Naturgeschichte einer Kerze, zitiert aus Reclam, S.129



Der Kreislauf von Verbrennung und Photosynthese

Abschliessend ein Versuch, die wichtigsten Szenen des Kerzen-Lehrstücks in Bildern darzustellen:

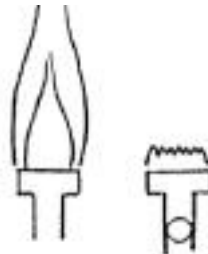
Ouvertüre: Kerzenflamme
aus der Erinnerung zeichnen



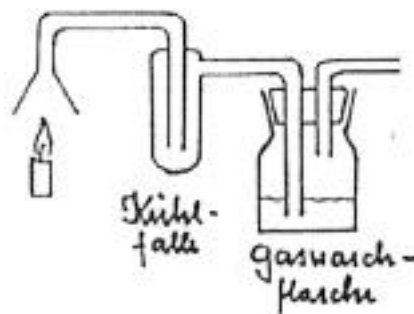
1. Akt: Was brennt?
Flammensprung und
Wachsdampf sammeln



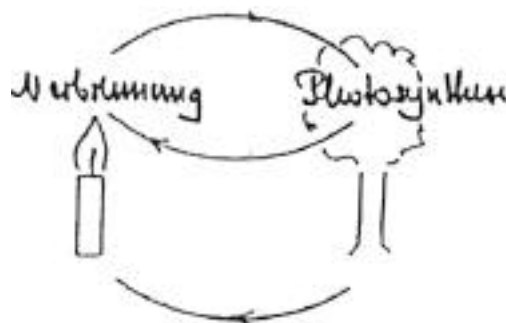
2. Akt: Warum leuchtet die
Kerzenflamme?
Die gelbe und die blaue
Flamme



3. Akt: Was entsteht bei der
Verbrennung?
Nachweis von Wasser
und Kohlendioxid



4. Akt: Der Kreislauf:
Verbrennung und
Photosynthese



4. Elementare Himmelskunde

Die Astronomie ist die älteste der Naturwissenschaften. Die Beobachtung von Sonne, Mond und Sternen reicht zurück bis in Zeiten, von denen wir keine genauen Überlieferungen haben (z.B. Stonehenge). Schon 585 vor Christus konnte Thales eine Sonnenfinsternis voraussagen. Die Astronomie ist auch eine der sieben Künste, die seit dem vierten Jahrhundert vor Christus bis in die Neuzeit den Lehrplan des Abendlandes geprägt haben²³³. Heute ist die Astronomie als eigenständiges Fach aus vielen Lehrplänen verschwunden, sie wird zum Teil der Geographie (Die Erde als Himmelskörper) und zum Teil der Physik (Gravitation, Astrophysik) angegliedert. Und meistens haben dann die elementaren Kenntnisse keinen Platz, man beginnt sofort mit Modellen und setzt Kopernikus als selbstverständlich voraus.

Für Wagenschein war die Astronomie ein Lebensthema. In zahlreichen Texten hat er immer wieder über Astronomie geschrieben. In seinem Hauptwerk zur Astronomie: „Die Erde unter den Sternen“ (zusammengefasst in Kapitel 4.1.2) beschreibt er den genetischen Weg von den elementaren Beobachtungen bis zum heliozentrischen Weltbild. Bei der Ausarbeitung des Lehrstücks ist uns deutlich geworden, dass der lange Weg von den elementaren Beobachtungen bis Kopernikus den Rahmen eines Lehrstücks sprengen würde. Wir haben uns deshalb entschlossen, im Lehrstück „Elementare Himmelskunde“ die Bewegung von Sonne, Mond und Sternen so darzustellen, wie wir sie am Himmel beobachten. Wir bleiben damit in der griechischen Geozentrik. Mit der Zeit ist uns auch deutlich geworden: Zu einer elementaren Himmelskunde gehört auch die Erde: die Weltkarte mit den Kontinenten und Meeren und die Erde als Kugel. Die Wende vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild - Kopernikus und Galilei - und die Begründung dieses Weltbildes durch Newtons Gravitationsgesetz muss ein zweiter, eigenständiger Schritt sein, der im Lehrstück „Elementare Himmelskunde“ nicht Platz hat, und von dort ist es dann nochmals ein weiterer grosser Schritt zur heutigen Astronomie: Galaxien, Urknall, Supernova und schwarze Löcher.

Das Lehrstück „Elementare Himmelskunde“ birgt noch eine weitere Schwierigkeit: Die Inszenierung hängt von den Wetterverhältnissen ab. Jede Inszenierung gestaltet sich deshalb immer wieder anders, und daher wird für die Präsentation folgende Form gewählt: Zuerst wird ein fiktiver Unterricht beschrieben (Kapitel 4.2.2) So stellen wir uns eine Inszenierung des Lehrstücks unter idealen Bedingungen vor. Danach werden die verschiedenen Inszenierungen, die bereits stattgefunden haben, in Kurzform dargestellt und so gezeigt, wie, angepasst an die gegebenen Rahmenbedingungen und an das Wetter, der Kurs durchgeführt wurde.

Die didaktische Interpretation gliedert sich gewissermassen in zwei Teile: In einem ersten Teil werden die Frage nach dem Genetischen und die Funktionsziele von Wagenschein an seinem Text „Die Erde unter den Sternen“ diskutiert. In einem zweiten Teil werden dann die didaktischen Begriffe genetisch, sokratisch, exemplarisch und dramaturgisch am Lehrstück „Elementare Himmelskunde“ untersucht.

²³³Albert Reble: Geschichte der Pädagogik; S.27

4.1. Vorlage

4.1.1. Himmelskunde bei Wagenschein

Literatur: NP = Natur physikalisch gesehen; Diesterweg 1953
 P = Die pädagogische Dimension der Physik, Westermann 1962
 UI / UII = Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken, Band I und II;
 Klett 1965 und 1970
 V = Verstehen lehren; Beltz 1968
 N = Naturphänomene sehen und verstehen; Klett 1980

Zum Keplerschen Gesetz (1935)

Ausschnitt aus „Physikalischer Unterricht und Intellektualismus“, Zeitschrift für Mathematischen und Naturwissenschaftlichen Unterricht aller Schulgattungen, 1935, U I S.37, N S.280-281
 Einfache Gedankengänge zum Entstehen der Ellipsenbahn

Die Errungenschaften der Astronomie (1951)

Die Sammlung, 1951, S.194-196; U I S.180-181
 Die Astronomie zeigt uns eine kalte, leere Welt. Mit dem Herzen sehen wir einen anderen Sternenhimmel: den „schweigenden, hütenden Rätselblick der Sternenkuppel“.

Fernrohrfreuden (1953)

Allg.Deutsche Zeitung, 1953; UI, S.6-48, N, S.281-283
 Betrachten eines Kometen, von Jupiter und Saturn: die Begeisterung von Galilei und die Ablehnung der Astronomie durch Goethe, weil ein Instrument (das Fernrohr) benötigt wird.

Die Erde unter den Sternen (1955)

Beltz-Verlag

1.Erde als Kugel

Vollmond - Mondfinsternis (S.7-9), Schiff versinkt im Meer (S.9/10), um die Erde herumfahren (S.11); Problem der Antipoden: Unten ist immer, wo der Erdboden ist (S.11-13).

2. Der Himmel

Die Sterne sind auch am Tag da (S.14), Sternbilder (S.14), Mond und Sterne sind sehr weit entfernt (S.15), Modell mit Glaskugel und Erde im Zentrum (S.15), Sternbilder kreisen um uns, Polarstern steht fest, erst im Fernrohr sieht man, dass auch er einen kleinen Kreis beschreibt (S.16-19).

3.Sonne und Mond

Die Pole sind mit Eis bedeckt: Die Sonne hält sich über dem Aequator auf (S.21), der Mond bewegt sich langsamer als die Sterne (S.22-23), Mondphasen (Zeichnung mit Münchhausen) (S.23), die Sonne steht weiter hinten als der Mond (S.24), Zeichnung mit Sternbild und Mond in Berlin und Kapstadt (S.24), Entfernung des Mondes aus diesem "Daumensprung": dreissig Erdkugeln (S.25), Bestimmung der Mondentfernung mit Winkelmessung in Berlin und Kapstadt (Zusatz, S.53-54), Entfernung und Grösse der Sonne (S.26), Sonnenentfernung nach Aristarch mit Hilfe des Halbmonds (Zusatz, S.54-56).

4. Planeten

Planeten wandern durch den Tierkreis (S.27), Beschreibung der Planeten (S.27-28), Daumensprung der Planeten ist viel kleiner als beim Mond: Sie sind weiter entfernt (S.28), Venusphasen (S.29-30).

5. Zweifel

Trotz unterschiedlicher Entfernung dreht alles miteinander um die Erde, zudem muss die Sonne auf Grund ihrer grossen Entfernung jeden Tag eine riesige Reise machen (S.29).

6. Die wälzende Erde

relative Bewegung (S.30), Diskussion der Bedenken gegen Erddrehung (fiktives Gespräch) (S.31-34), Fallversuche zum Beweis der Erddrehung (S.34-35).

7. Bahnen der Sonne und der Planeten

Sonne bewegt sich in einem Jahr durch den Tierkreis (S.36-37), Erklärung der Jahreszeiten (S.37), Planeten beschreiben Schleifenbahnen (S.39).

8. Die fliegende Erde

Kopernikus: die Erde dreht sich um die Sonne (S.40), mit dieser Idee löst sich das Rätsel der Planetenschleifen (S.41), Zitate von Kopernikus und Kepler (S.42), Modell mit dem Wald, Kopf hin und herbewegen (S.43-44): Parallaxe / Bessel (S.44), die schräge Erdachse (S.46-47), das Gewölbe des Fixsternhimmels löst sich auf: die Sterne sind im Raum verteilt (S.49).

Will der Stein oder muss er fallen? (1955)

Die Sammlung 1955 (269-271); UI S.282-284; N S.197-199;

Alles fällt gegen den Erdmittelpunkt. Was ist dort los? Ein Pendel zeigt in der Nähe eines Berges etwas auf diesen zu. Ein Pendel schwingt in einem tiefen Schacht langsamer. Sitzt die Kraft in der Erdrinde? Nein, sonst würde das Pendel auf dem Kopf stehen. Lösung: Die Anziehung steckt nicht im Zentrum, sondern im ganzen Leib (Kepler).

Himmelskunde (1955)

Die Sammlung 1955 (219-221); UI, S.280-281; N, S.268-270;

Wie kann man Kinder überzeugen, dass die Erde eine Kugel ist? Studentin: Heute kann man herumfahren, und jedes Kind kennt den Globus. Wagenschein: Und die Antipoden? Student: Wie Fliegen an der Decke. Wagenschein: Saugnäpfe? Student: Luftdruck spielt mit. Student: Ein Bein wird auch schwerer, wenn's vom Badewasser in das Gebiet des Luftdrucks kommt. Student: arithmetisches Prinzip. Student: Nein, hängt mit Erdrotation zusammen. Student: Hängt mit der Grösse zusammen: Staub fällt auch nicht vom Globus herunter. Studentin: Hat mit Erdmagnetismus zu tun.

Planeten; Mondsichel (1956)

Ausschnitt aus: Was bedeutet naturwissenschaftliche Allgemeinbildung, U II; S.133; N, S.274

Fast niemand hat einen Planeten am Himmel wirklich verfolgt: Er macht eine Schleifenbahn, er beschreibt keine Ellipse.

Verwechslung von Mondphasen mit Erdschatten

Der gestirnte Himmel über uns (1956)

Die Sammlung, 1956; U I, S.317-319; N S.283-85

Die Zuverlässigkeit, das Ewige der Himmelskuppel hat etwas Tröstliches, gibt uns Halt. Inzwischen wissen wir, dass die Sternbilder nicht ewig gleich sind. Was bedeutet das für uns? Gespräch zwischen zwei Physikern

Weltraumfahrt: Wo endet der Anziehungsbereich der Erde? (1960)

Ausschnitt aus: Was bleibt unseren Abiturienten vom Physikunterricht, Zeitschrift für Pädagogik, 1960; U I S.387, 390-397; N S.270-271

Antworten von 14 Studenten auf die Frage: Wo endet der Anziehungsbereich der Erde?

Geometrie aus der Erde (1961)

Deutsche Schule 1/61; UI 430-434; N S.298-302;
Bestimmung des Erdradius nach Eratosthenes

Wie weit ist der Mond von uns entfernt? (1962)

P. S.250-254; N. S.302-308

Bestimmung mit Winkelmessung Berlin und Kapstadt und Bestimmung mit der Verschiebung innerhalb eines Sternbilds zwischen Berlin und Kapstadt (Daumensprung)

Die Mondsichel - Wintersternbilder (1966)

Ausschnitt aus: Verdunkelndes Wissen, Frankfurter Hefte, S.261-268; V S.62-65; U II 58-67
Zur Mondsichel: Viele Menschen glauben, Mondphasen entstünden durch den Schatten der Erde. Wichtiger Hinweis: Sonne und Mond zusammen anschauen. Zu den Wintersternbildern: Orion ist im Sommer nicht zu sehen, wo ist er? Wenn man ihn im Winter ins Auge fasst und verfolgt, sieht man, wie er sich im Lauf des Frühlings immer näher an die Sonne schiebt.

Erdrotation (1968)

V S.89-90 und 91-95

Wer den Foucault-Versuch gesehen und verstanden hat, muss die Erdrotation zugeben. Aber: Wie kam Foucault darauf? Aristarch hatte den genialen Einfall, Sonne und Mond als eine Gestalt anzuschauen.

„Zum ersten Mal hat der Mensch das Schwerfeld der Erde verlassen“ - denkste (1971)

Ausschnitt aus: Was bleibt [verfolgt am Beispiel der Physik] in: J.Flügge: Zur Pathologie des Unterrichts, S.74-91; N S.272-273

Drei Zitate aus Zeitschriften werden unter die Lupe genommen: erstes Zitat: „Schwerfeld verlassen“; zweites Zitat: ist richtig, aber zu kompliziert ; drittes Zitat: Mondphase = Mondschaten

Kinder und der Mond (1973)

Ausschnitt aus: Kinder auf dem Wege zur Physik, S.16ff; N S.275-278

Zitate, was Kinder über den Mond denken

Wissenschaftsverständigkeit (1975)

Neue Sammlung 1975 (315-327); N, S.287 ff

Dass die Erde sich bewegt, ist Glaube aber nicht Überzeugung. Zitate von Koyré, die Schauer vor dem endlosen leeren Raum mit den unzähligen Galaxien und Sternen. Vorschlag, wie man anders vorgehen könnte:

1. Erdkrümmung nach Eratosthenes
2. Mondentfernung mit der Winkelmessung in Berlin und Kapstadt
3. Fallversuche von Benzenberg
4. Newtons Entdeckung der Gravitation an der Bewegung des Mondes
5. Parallaxe

Der Mond und seine Bewegung (1975)

NP S.59-81

1. Erst beim intensiven Betrachten der Mondsichel und der Sonne, z.B. am Abendhimmel kann erlebt werden: Die Sonne beleuchtet den Mond und steht viel weiter hinten.
2. Aristarch: Berechnung, wie viel weiter die Sonne entfernt ist als der Mond, durch das Dreieck Halbmond-Erde-Sonne.
3. Entfernung des Mondes durch die Winkelmessung in Berlin und Kapstadt
4. Grösse von Sonne und Mond
5. Erddrehung und Umlauf um die Sonne wird hier vorausgesetzt (S.69/70). Bewegung des Mondes durch die Sternbilder heisst dann: Die Kugel des Mondes schwebt im Weltall, er ist nicht auf der Himmelskuppel (70)
6. Was hält den Mond auf seiner Bahn? Newtons Entdeckung der Gravitation (wichtiges Zitat Newtons S.71!) , Zeichnung von Newton aus Principia (geworfener Stein) (S.72/73)
7. Mit geometrischer Überlegung: Der Mond fällt in jeder Sekunde 1,3 mm.
8. Daraus folgt nun die Erkenntnis: Die Schwerkraft nimmt quadratisch mit der Entfernung ab. Die Schwerkraft reicht also bis zum Mond und ohne Ende immer weiter, aber sie wird immer schwächer.

Die Erfahrung des Erdballs (1967)

Der Physikunterricht, 1/67, U II S.25-58; N S.309-342;

1.Kugelgestalt der Erde

Schiff, das im Meer verschwindet, Satellitenbilder, Wolken von unten betrachten, rund herum fahren (S.312/13 in N)

Die Griechen wussten es, weil sie bei Nord-Süd-Reisen die Veränderung der Sternbilder beobachteten, insbesondere die regelmässige Änderung der Höhe des Polarsterns (S.313)

Eratosthenes berechnete den Erdumfang (S.313, nur Hinweis)

Mondfinsternis (S.314/15), braucht das Verständnis der Mondphasen (S.315)

2.Anziehungskraft

Die schwebende Kugel führt zum Problem der Antipoden (S.316) Unterschied: Unten und Innen (S.317/18)

Zudem: Sollte nicht die Erde als ganzes im Weltraum abstürzen? (S.318)

Die Anziehungskraft der Erde: Will oder muss der Stein fallen? (S.321)? Lösung:

Auf einem Berg ist das Gewicht eines Steins kleiner: spricht für Anziehungskraft.

(S.321) aber: im tiefen Schacht ist die Anziehung auch wieder weniger (S.321)

Zudem: Ein grosser Berg bewirkt eine seitliche Anziehung (S.321/22) Ergänzung:

Jupiter mit Monden (S.322) Insgesamt ergibt sich: Die Anziehung steckt im Leib, nicht im Zentrum (Kepler, S.323)

3.Erdrotation

Wurzeln bei Aristarch (S.325) Wie kam er darauf?

Mondphasen verstehen: Sonne viel weiter hinten. Warum gehen die so weit voneinander entfernten Himmelskörper miteinander auf und unter? Ist aber noch kein Beweis (S.327)

Einwand des Ostwindes und der fallenden Äpfel (S.328)

Fallversuche zeigen: Ostabweichung: Beweis für Erddrehung (S.329-331)

Foucaultpendel ist schwer verständlich (S.329), Passatwinde überzeugen weniger (S.330)

4.Die Erde bewegt sich um die Sonne

Wintersternbilder (S.333)

Planetenbahnen (S.333/34)

Parallaxe (S.335/336)

5.afrikanische Schüler und Schülerinnen

Ist die Erde wirklich rund? (S.340/41)

Die beiden Monde (1979)

Scheidewege 4/79, S.463-475 und Erinnerungen für morgen, S.154-166

Es gibt den Mond der Dichter, der unsere Gefühle anspricht, und den Mond der Astronauten und Physiker: Die kalte Steinwüste. Es muss unser Ziel sein, beide Sichten als Aspekte des Mondes zu sehen, wir dürfen nicht die eine Sicht als die richtige anerkennen.

Der Mond reist mit nach Ulm (1979)

Norbyrischer Kurier 17./18.11.79

Beim Zugfahren beobachtet ein Kind, dass der Mond mitfährt. Im Text geht es Wagenschein um das spontane, unvoreingenommene Denken der Kinder.

4.2.1. Zusammenfassung von „Die Erde unter den Sternen“

„Um das astronomische Wissen glaubhaft zu machen, muss dem Denken möglichst lange das Geleit des Herzens gegeben werden“, schreibt Wagenschein in der Einleitung zu diesem kleinen Buch. Der Lehrgang beginnt mit dem Vollmond: Wenn er im Osten aufgeht, eine weisse Kugel am schon dunkelblauen Himmel, dann geht im Westen, dem Mond gegenüber, die rotglühende Sonne unter. Sie scheint dem Mond also mitten ins Gesicht, und die Erde steht zwischen den beiden. Hin und wieder steht die Erde dann gerade so, dass ihr Schatten auf den Mond fällt. Wir nennen das eine Mondfinsternis. Langsam bedeckt der Schatten der Erde den Mond, und wir sehen dabei, dass der Schatten eine kreisförmige Scheibe ist. Aus dieser Beobachtung erkennen wir - und das war auch schon Aristoteles bekannt -, dass die Erde eine Kugel ist. Ein zweiter wichtiger Beweis fehlt in Wagenscheins kleinem Buch. Wir finden ihn in einem späteren Wagenschein-Text²³⁴ : Auf einer Reise von Süden nach Norden nimmt die Höhe des Polarsterns regelmässig zu. Auch das war Aristoteles bekannt; er war sich deshalb der runden Erde sicher. Wagenschein erwähnt die Beobachtung, dass von einem Schiff, das von der Küste wegfährt, zuerst der Rumpf verschwindet, während der Mast noch sichtbar ist. Aller-

²³⁴ Martin Wagenschein: Die Erfahrung des Erdballs; 29

dings muss das Schiff dabei weit ins Meer hinausfahren, und das lässt uns ahnen, wie riesig der Erdball sein muss. Eratosthenes hat ihn vermessen: Wenn die Sonne senkrecht über Assuan steht, wirft ein Obelisk im fernen Alexandrien einen Schatten. In einem andern Text²³⁵ zeigt Wagenschein, wie man aus der Schattenlänge und der Distanz Assuan-Alexandrien mit einer einfachen geometrischen Überlegung die Grösse der Erde ermitteln kann. Seit Magellan die Erde umsegelt hat, sind die letzten Zweifel über die Kugelgestalt der Erde beseitigt. Heute können wir den Erdball auf Satellitenaufnahmen sehen. Diese Möglichkeit gab es noch nicht, als Wagenschein 1955 sein Himmelskundebüchlein veröffentlichte. Der erste Satellit, Sputnik, umkreiste 1959 die Erde, und er konnte noch keine Photos, sondern nur pip-pip -Töne zur Erde senden.

Die Erde ist ein Ball, das wissen wir jetzt, nur: warum fallen die Menschen auf der uns gegenüberliegenden Seite nicht ab? Und müsste nicht die ganze Erde nach unten fallen? Nein: Unten ist immer dort, wo der Erdboden ist. Und wenn die Erde als ganzes nach unten stürzen sollte, so hiesse das: nach innen. „Das hat sie längst getan, so sehr sie es konnte (und vielleicht ist sie deshalb so schön rund geworden).“ (S.13) Das Problem der Antipoden ist in „Erfahrung des Erdballs“ ausführlich behandelt bis hin zur Erkenntnis: Die Kraft steckt im Leib und nicht im Zentrum (Kepler)²³⁶.

Wagenschein wendet sich nun den Sternen zu: „Die Sterne sind nicht nur in der Nacht unsere Wächter. Sie umstehen uns auch am Tag, nur verborgen hinter der lichtblauen blendenden luftigen Wand. Da ein jedes Volk, ein jedes Land, Himmel und Sterne über sich hat, so wird der Erdball auf allen Seiten von Sternen angesehen. Eine lichter-besteckte Kugel umscheint unsere Erde.“ (S.14)



Wenn wir reisen, dann verschieben sich Mond und Sterne gegenüber Bäumen und Bergen, sie reisen mit uns, und wir schliessen daraus, dass sie sehr weit entfernt sein müssen. Und noch etwas können wir feststellen, wenn wir genug Geduld haben - eine Stunde in der Nacht genügt schon, um zu sehen: Die ganze Himmelskugel mit Mond und Sternen dreht sich um uns herum. Nur ein einziger Stern, der Polarstern, bleibt fest. Um ihn herum kreisen alle Sternbilder. Und wenn wir mit einem Fernrohr genau schauen, so merken wir, dass sogar der Polarstern einen ganz kleinen Kreis beschreibt um einen leeren Punkt an der Himmelskugel, den wir Himmelspol nennen. Um ihn dreht sich alles. Die Orte der Erde, die den Himmelspolen am nächsten stehen, sind die Erdpole. Sie sind mit Eis bedeckt, denn die Sonne ist über dem Aequator zuhause und wärmt die Pole nur wenig.

²³⁵ Martin Wagenschein: Mathematik aus der Erde; In: M.Wagenschein: Naturphänomene sehen und verstehen; S.298-299

²³⁶ Martin Wagenschein: Die Erfahrung des Erdballs; S.316-324

Wenn wir den Mond an zwei Abenden verfolgen, so merken wir, dass er keinen festen Wohnort auf der Himmelskugel hat. Während er von der drehenden Himmelskugel mitgenommen wird, läuft er langsam in der Gegenrichtung, „wie ein Käfer, der auf einem schnell drehenden Mühlrad langsam der Drehrichtung entgegenläuft.“ (S.22)

Auch hinter der Sonne bleibt der schmale Sichelmond jeden Tag ein deutliches Stück zurück. Gleichzeitig wird die Sichel breiter, und der Mond leuchtet immer heller. Wenn man genau hinschaut, - bei der schmalen Sichel sieht man es besonders gut, weil sie uns noch nicht so hell blendet - erkennt man, dass er immer eine volle runde Kugel ist, die im Licht der viel weiter hinten stehenden Sonne steht. Der Mond sitzt also nicht auf der Himmelskugel, er ist näher bei uns. Wenn wir von Berlin nach Kapstadt fahren, verschiebt sich der Mond gegenüber den Sternen ein wenig, weil er vor den Sternen schwebt. Im Anhang des Büchleins beschreibt Wagenschein, wie man die Entfernung des Mondes ermitteln kann: Lacaille und Lalande haben 1752 den Mond gleichzeitig von Berlin und von Kapstadt aus anvisiert. „Ein Streichholz, mit Knetgummi (auf den Globus [U.A.]) aufgesetzt, zeigt den Berliner, ein schwarzes Streichholz, knapp einen Viertelkreis davon entfernt in Kapstadt aufgesetzt, den Kapstädter. ... Jeder sieht nur einen kleinen Umkreis, den er für die Erdscheibe hält. Deshalb setze ich jedem noch einen Papierteller unter, das ist sein Horizont. Beide sehen nun den Mond ...“ (S.53) Wagenschein gibt dann die Daten für die Messung von 1752 und lässt die Situation auf einem Papier aufzeichnen. „Ein Kreis von 10 cm Durchmesser sei die Erde.“ Dann werden der Berliner und der Kapstädter mit ihren Blickrichtungen zum Mond aufgezeichnet. „Die Blickrichtungen laufen nicht ganz parallel, sie zielen auf den fernen Mond. Wir verlängern sie mit dem Lineal, bis wir ihn haben. Er liegt weit draussen. Das Papier muss über drei Meter lang sein.“ (S.54)

Dreissig Erdkugeln muss man also nebeneinanderlegen, um bis zum Mond zu gelangen. Und wenn wir nun wissen, wie weit der Mond entfernt ist, können wir mit dem Strahlensatz auch seine Grösse ausrechnen: Sein Durchmesser ist etwa vier mal kleiner als derjenige der Erde. Christoph Raebiger hat gezeigt, wie schon Aristarch - aus der Messung des Erdschattens bei einer Mondfinsternis - die Grösse des Mondes ermittelte²³⁷. Das Verfahren ist allerdings weniger leicht zu durchschauen als die Winkelmessung von Lacaille und Lalande; hat Wagenschein deshalb die alte Überlegung von Aristarch nicht erwähnt? Eine andere Messung von Aristarch erwähnt Wagenschein im Anhang seines Büchleins (S.54ff): Die Bestimmung der Entfernung der Sonne. Bei Halbmond bilden Sonne, Erde und Mond ein rechtwinkliges Dreieck (der rechte Winkel liegt beim Mond). Wir bestimmen den Winkel zwischen Sonne und Mond - schwierig zu messen, weil es fast ein rechter Winkel ist - und ermitteln daraus, dass die Sonne 400 mal weiter entfernt ist als der Mond. Und weil Sonne und Mond am Himmel gleich gross erscheinen - bei einer Sonnenfinsternis sieht man das besonders deutlich - muss die Sonne 400 mal grösser als der Mond oder 100 mal grösser als die Erde sein.

In ewig gleicher Anordnung umkreisen die Sterne die Erde. Um uns am Himmel zurechtzufinden, sind Gruppen von Sternen zu Sternbildern zusammengefasst. Sie tragen Namen von griechischen Göttern und Helden und widerspiegeln die Sagen der griechischen Mythologie. Erstaunlich, dass Wagenschein darauf nie eingeht, weder in „Die Erde unter den Sternen“ noch in anderen Aufsätzen zur Himmels-

²³⁷ Christoph Raebiger: Was lehren uns des Mondes Licht und Schattenphänomene? In: Lutz Fiesser (Hrsg.): „Wie war das noch ...?“, Physikseminar der Pädagogischen Hochschule, Flensburg, 1988

kunde! Fünf „Sterne“ allerdings verschieben sich im Lauf der Zeit durch die Sternbilder des Tierkreises. Es sind die Planeten: Venus, als strahlender, heller Morgen- oder Abendstern bekannt, Mars, durch seine rötliche Farbe gekennzeichnet, Jupiter, der König der Planeten, Saturn, der langsam und ruhig seine Bahn durch den Tierkreis zieht, und Merkur, der schwierig zu erkennen ist, weil er immer nahe bei der Sonne steht.

Im Fernrohr kann man erkennen, dass Venus Phasen zeigt, genauso wie der Mond. Allerdings: Wenn das Scheibchen fast voll ist, wenn die Sonne der Venus ins Gesicht scheint, steht sie näher bei der Sonne - wir müssen daraus schliessen, dass Venus in dieser Situation hinter der Sonne schwebt.

Nicht nur der Mond, auch die Planeten verschieben sich gegenüber den Sternen, wenn wir von Berlin nach Kapstadt reisen. Nur ganz wenig zwar, aber es genügt, um zu erkennen: Wie ruhig dahingleitende Vögel vor dem Hintergrund der entfernten Berge schweben die Planeten vor den weit entfernten Sternen.

Das ruft nun Zweifel hervor: Warum gehen Sterne, Planeten und Sonne trotz unterschiedlicher Entfernungen miteinander auf und unter? Und wie kann die weit entfernte Sonne in einem Tag eine so riesige Bahn durchlaufen? Wagenschein erinnert uns an das Relative einer Bewegung: Wenn wir den Wolken zuschauen oder von einem fahrenden Schiff in die Wellen blicken oder aus dem Fenster eines Zuges den Nachbarzug sehen: Bewegen wir uns, oder bewegen sich die Wolken, das Wasser oder der andere Zug? Könnte es nicht am Himmel auch so sein: dass die Erde sich dreht und nicht der Himmel mit Sonne, Mond und Sternen? Dann wären die erwähnten Zweifel geklärt. Kopernikus hat vor vierhundert Jahren so überlegt. Es gibt allerdings Einwände gegen diese neue Vorstellung: Müssten wir nicht einen heftigen Wind spüren, wenn sich die Erde jeden Tag einmal um sich selber drehte? Nein, denn die Luft dreht sich mit der Erde zusammen. Aber warum ist die Erde nach so langer Zeit noch nicht zur Ruhe gekommen? Weil niemand sie bremst! Und schliesslich: Warum fällt ein Apfel nicht in den Garten des Nachbarn, wenn sich doch die Erde unter ihm wegbewegt? Es ist wie bei der Luft: Der Apfel nimmt bei seinem Fall den Schwung der Erddrehung mit. Der fallende Apfel führt uns nun gar zu dem Einfall, wie man die Erddrehung nachweisen könnte: Oben im Baum hat der Apfel eine grössere Geschwindigkeit, er muss ja in einem Tag einen etwas grösseren Kreis zurücklegen. Deshalb müsste eigentlich der Apfel ein kleines Stück Richtung Osten vorausfliegen. Das tut er auch und beweist damit die Erddrehung. In „Die Erfahrung des Erdballs“ beschreibt Wagenschein die Fallversuche ausführlich. Newton hat als erster darauf hingewiesen, aber es dauerte über hundert Jahre, bis Guglielmini ein erstes - noch sehr fragwürdiges - Ergebnis erhielt. Erst Benzenberg und später Flammarion konnten mit Fallversuchen die Drehung der Erde wirklich beweisen. Wie gering - und durch zufällige Störungen überlagert - die Abweichung ist, verdeutlicht die Abbildung mit den Aufschlagpunkten aus der Messung von Flammarion²³⁸.

In welchem Sternbild ist die Sonne zuhause? Wir können die Sterne am Tag nicht sehen, aber wenn wir ein Sternbild, etwa den im Sommer schön sichtbaren Löwen vom Frühling in den Sommer verfolgen, so sehen wir, wie er immer näher an die Sonne rückt: Im Herbst schliesslich steht er dann hinter der Sonne, die also gar keinen festen Platz in einem Sternbild hat. Auch sie wandert im Laufe des Jahres durch alle Sternbilder des Tierkreises.

²³⁸ Martin Wagenschein: Die Erfahrung des Erdballs, S.331

Und so hat sich unser Weltbild nun gegenüber dem ersten Bild verändert: Auf der weit entfernten Himmelskugel ruhen die Sterne. Sonne, Mond und Planeten schweben im Vordergrund und bewegen sich gegenüber den Sternen - schnell der Mond, langsamer die Sonne und die Planeten. In der Mitte steht die Erde, die sich einmal pro Tag um sich selber dreht.

Wir wissen es: Die Sonne steht nicht immer über dem Aequator. Im Sommer steht sie weiter nördlich und daher bei uns hoch am Himmel, im Winter weiter südlich und bei uns nur wenig über dem Horizont. Warum macht die Sonne diesen schrägen Jahresrundgang? Und wie ist es überhaupt möglich, dass die riesige Sonne um die Erde schwingt?

Eine weitere seltsame Entdeckung kommt dazu: Wenn wir die Planeten sorgfältig verfolgen, entdecken wir ihre merkwürdige Bewegung: Gelegentlich zögern sie in ihrem Lauf, wenden, laufen einige Zeit rückwärts und wenden dann wieder zu ihrer ursprünglichen Richtung.

Auch diesen gordischen Knoten durchschlägt Kopernikus mit der kühnen Behauptung, dass die kleine Erde um die riesige Sonne laufe. Es wäre natürlicher, und das Rätsel der Planetenbahnen löst sich: „Die Schlingen, die wir sie (die Planeten [U.A.]) fahren sehen, sind Täuschungen, sind Abbild unseres eigenen Kreisens um die Sonne, seine Spiegelung an der fernen Himmelswand!“ (S.41) Wagenschein zitiert dazu Kopernikus : „Alles, was an Bewegung am Fixsternhimmel sichtbar wird, ist nicht von sich aus so, sondern von der Erde aus gesehen“ und Kepler: „das diser lauff, ... nur ein scheinlauff seye, vnd daher khompt, weil die Erd mit vns vmbgehet“ (S.42). Ist es wirklich so? Es gibt einen Beweis: Die näheren Sterne müssen im Takt unseres Jahres, verglichen mit den weit entfernten, einen kleinen Hin- und Hergang machen. Die Astronomen nennen diese Bewegung Parallaxe. Sie ist sehr gering, und so gelang es erst 1838 Bessel, den ersten schaukelnden Stern zu finden. Wagenschein lässt Bessel in „Die Erfahrung des Erdballs“ selber zu Wort kommen: „Als ich die grosse Eigenbewegung des 61. Sterns im Schwan erkannte, hob ich die Aussicht heraus, seine jährliche Parallaxe grösser zu finden als die fruchtlos gesuchten jährlichen Parallaxen anderer Sterne“²³⁹

Damit gibt es keinen Zweifel mehr: „Der Erdball fliegt wirklich im Kreis um die Sonne“ (S.44) und mit ihm die Planeten. Je weiter aussen sie sind, desto langsamer ist ihr Lauf. Und die Erdachse „steht nicht lotrecht auf dem Feld unseres (und aller Planeten) Laufes. ...Stünde sie lotrecht, so wäre die Welt ebenmässiger, aber auch eintöniger: Dieser Schräge allein verdanken wir die Jahreszeiten.“ (S.47) Der Mond ist der einzige, „der uns noch als Mitte nimmt.“ (S.47) Seinen Flug kann man als Wurf um die Erde verstehen, aus dieser Idee hat Newton das Gravitationsgesetz gewonnen.²⁴⁰

Noch ein zweites folgt aus Bessels Messung: „Das Gewölbe des Fixsternhimmels löst sich auf.“ (S.49) Die Sterne sind sehr weit weg und verstreut in einem unvorstellbaren Raum. „Wir haben einen tiefen Blick in den Himmel getan, und die Aussicht mag manchen erschrecken. ... Aber es gibt kein Zurück von dieser Erkenntnis. Wie ein jedes Kind das Elternhaus einmal verlassen und in die offene Welt der vielen Häuser und Städte eintreten muss, so ist die Menschheit mit Kopernikus und Bessel aus ihrem Heimathimmel herausgetreten“ (S.50)

²³⁹ Martin Wagenschein: Die Erfahrung des Erdballs; S.336

²⁴⁰ Martin Wagenschein: Der Mond und seine Bewegung; S. 42-57

4.1.3. Didaktische Interpretation von „Die Erde unter den Sternen“

Genetisch

Genetisch kommt von Wachsen, Entstehen. Ein genetischer Lehrgang ist so angelegt, dass die Schüler und Schülerinnen das Entstehen des Wissens erleben. „Verstehen heisst: Selber einsehen, wie es kommt“²⁴¹, wie Wagenschein schreibt. Das Büchlein »Die Erde unter den Sternen« ist ein Musterbeispiel dafür. Sorgfältig beschreibt Wagenschein zuerst die elementaren Beobachtungen und entwickelt daraus ein einfaches Bild mit der drehenden Himmelskuppel über dem Erdball. Dann formuliert er die Zweifel an diesem - griechischen - Weltbild, beschreibt das neue, heliozentrische Weltbild von Kopernikus, entkräftet die naheliegenden Einwände gegen die Vorstellung einer bewegten Erde (das ewigwährende Drehen, der Wind, der entstehen sollte, und der Apfel, der in den Nachbargarten fallen sollte) und beschreibt schliesslich den Beweis für die neue Vorstellung: den Fallversuch von Benzenberg. Ganz anders also als viele Astronomiekurse, die schon zu Beginn von den fernen Galaxien und explodierenden Sternen sprechen, oder, auch weit verbreitet, die zuerst die komplizierten astronomischen Koordinatensysteme darstellen, wo Winkel nicht nur in Grad, sondern in Stunden gemessen werden. Erstaunt es, wenn Schüler und Schülerinnen das für Klausuren Gelernte nicht mit unserer Welt in Verbindung bringen, wenn, wie Wagenschein immer wieder nachweist, gerade in der Himmelskunde so erschreckend viel Scheinwissen vorzufinden ist?

Drei Aspekte des Genetischen sollen an der Himmelskunde untersucht werden:

1. Originäre Forscher:

Wagenschein betont immer wieder, wie wichtig es ist, insbesondere für Physiklehrer, die originären Forscher in ihren Quellen zu lesen. In solchen Texten können wir sehen, wie das Wissen entstanden ist. Kommen die originären Forscher in Wagenscheins Himmelskunde zu Wort?

- In »Die Erde unter den Sternen« findet man Zitate von Kopernikus (S.42, S.45) und Kepler (S.42). Erstaunlich wenig, verglichen mit späteren Texten, z.B. »Die Erfahrung des Erdballs«: Aristoteles (S.313, 314, 315, 318, immer in der Übersetzung von Kepler), Euler (S.317, 321), Kepler (S.318, 323, 325, 326, 334) Kopernikus (325, 334) Tycho Brahe (326), Bessel (336).

- Viele originäre Beobachtungen und Messungen werden in Wagenscheins Himmelskundetexten ausführlich beschrieben:

(a) in »Die Erde unter den Sternen«: die Entfernung des Mondes durch Lacaille und Lalande (S.54), die Entfernung der Sonne nach Aristarch (S.54-56);

(b) in andern Texten: die Fallversuche von Benzenberg und andern, die Entdeckung der Parallaxe durch Bessel (Die Erfahrung des Erdballs), die Entdeckung des Gravitationsgesetzes durch Newton (Der Mond und seine Bewegung).

In diesem Sinne vermittelt Wagenschein ein sehr authentisches Bild der Entwicklung der Himmelskunde. Erstaunlicherweise kommt Galilei mit seinen Entdeckungen nicht vor.

2. Einwurzelung:

I. Es geht einmal darum, Sonne, Mond und Sterne bewusst zu machen, immer wieder an den Himmel zu schauen und die Himmelskörper wahrzunehmen. Kann man den Mond am Tag sehen? Diese Frage müsste doch jeder überzeugt mit: „Ja, eigentlich habe ich das schon gesehen“ beantworten können. Und erst wenn man

²⁴¹ Martin Wagenschein: Verstehen lehren; S.120

das eine oder andere Sternbild (den grossen Bären, die Cassiopeja) kennt und immer wieder findet, kann sich das Gefühl der Geborgenheit unter dem Himmelszelt einstellen.

II. Die von uns nicht wahrnehmbaren Erkenntnisse der Kugelgestalt der Erde, der täglichen Drehung und der Bewegung der Erde um die Sonne werden so sorgfältig aufgebaut, dass diese Erkenntnisse in uns einwurzeln, sofern wir nur Wagenscheins Rat ernst nehmen: "Auch wird niemand hoffen können, durch das blosses Lesen etwas Wirkliches zu erfahren. Immer wird er dabei oder danach den Himmel selber anschauen, um dort mit eigenen Augen nachzuprüfen, wo es möglich ist und um dann erst im eigenen Urteil das Gelesene selber mit- und nach-zu-denken."²⁴²

3. Wenn genetisch mit „werden“ übersetzt wird, dann geht es auch um das „Werden“ des Menschen. Was trägt die Himmelskunde zur Entwicklung des jungen Menschen bei? Welche Lebenskräfte werden geweckt? Der Begriff „Lebenskräfte“ ist unscharf. Es geht um eine philosophische Dimension. Wagenschein schreibt: „Kein von seinem Fach benommener Lehrer, kein philosophisch nicht angerührter Lehrer ist imstande, Physik allgemeinbildend zu unterrichten.“²⁴³ Bei der Himmelskunde geht es um das Nachdenken über unsere Stellung in der Welt. Wir wissen, dass schon die Griechen die gleichen Sternbilder gesehen haben wie wir. Jede Nacht ist wieder der grosse Bär zu sehen, und wenn im Frühling der Orion vom Nachthimmel verschwindet, so wissen wir, dass er im Herbst wiederkommen wird. Das gibt uns ein Gefühl der Sicherheit, der Verlässlichkeit.

Willmann verwendet drei Bilder für das Genetische:

- in der Sprache den Baum mit Stamm und Ästen,
- in der Geschichte den Fluss mit seinen Zuflüssen,
- in der Mathematik das Samenkorn, das zur Pflanze heranwächst.

Ich denke, dass auf die Himmelskunde am besten das Bild mit dem Fluss passt. Wir sitzen am Ufer und schauen zu, und regelmässig zieht das Wasser an uns vorbei. Und wenn wir morgen wiederkommen, dann wird der Fluss genauso an uns vorbeiziehen. Manchmal führt er etwas mehr Wasser, manchmal weniger, so wie wir auch im Sommer und im Winter verschiedene Sternbilder sehen. Aber wir wissen, der Fluss war schon da, als wir noch nicht geboren waren, und er wird auch weiterfliessen, wenn wir sterben, genauso wie die Sterne auch. Und wenn wir dann dem Fluss folgen, wenn wir sehen, wie er durch die Zuflüsse grösser wird, dann entspricht das dem Gang durch die Geschichte der Astronomie: Neue Beobachtungen und neue Instrumente haben uns ermöglicht, mehr zu wissen. Aber genauso wie der mächtige Fluss nicht da wäre ohne das Bächlein an der Quelle, so sind neue Erkenntnisse nicht zu verstehen ohne die elementaren Grundlagen, auf denen sie aufbauen.

Exemplarisch

In seinem Text „Das exemplarische Lehren als ein Weg zur Erneuerung des Unterrichts an den Gymnasien“ nennt Wagenschein 8 Funktionsziele des Physikunterrichts.²⁴⁴ Er meint damit „fundamentale Erfahrungen bzw. Einsichten des

²⁴² Martin Wagenschein: Die Erde unter den Sternen; S.6

²⁴³ Martin Wagenschein: Verstehen lehren; S.40

²⁴⁴ Martin Wagenschein: Naturphänomene sehen und verstehen; S.183ff

physikalischen Unterrichts“.²⁴⁵ Exemplarisches Unterrichten heisst nicht Willkür in der Wahl der Stoffe, sondern das Beschränken auf Stoffe, an denen allgemeine Einsichten und Fähigkeiten vermittelt werden können. Ich werde nun Wagenscheins Himmelskunde an diesen Funktionszielen messen:

1.Funktionsziel: Erfahren, was in der exakten Naturwissenschaft heisst: verstehen, erklären, die Ursache finden

Seit Kopernikus und Galilei glauben wir, dass die Erde rund ist und sich bewegt. Aber haben wir das verstanden? Es sind dies klassische Themen, um zu zeigen, dass es oft Scheinwissen ist, dass wir ziemlich ratlos sind, wenn wir erklären müssen, warum wir das glauben. Mit Wagenscheins Lehrgang werden diese Inhalte verstehbar gemacht:

1. Die runde Erde ergibt sich aus der Beobachtung der Mondfinsternis. Diese ist leider nicht jederzeit verfügbar, aber es gibt sie gelegentlich wieder, und dann sollte man sie nicht verpassen. Langsam schiebt sich der kreisförmige Schatten der Erde auf den Vollmond, nimmt ihm seine leuchtend gelbe Farbe und lässt nur eine dunkelrote Scheibe zurück. Und dann beginnt der Mond am andern Rand wieder zu leuchten, bis er schliesslich seine ganze Helligkeit wieder gewonnen hat. Das geduldige Hinschauen, das Phänomen auf sich wirken lassen - in unserer hektischen Zeit ist das leider schwierig geworden.

2. Die Erddrehung lässt sich weniger leicht sehen. Wagenschein stellt sie als Möglichkeit in den Raum: Wenn sich nicht die Himmelskuppel drehte, sondern die Erde, dann könnten wir besser verstehen, warum alle Himmelskörper miteinander laufen. Dann diskutiert Wagenschein die Einwände: warum es keinen Wind gibt, warum die Drehung der Erde niemals aufhört, und warum die Äpfel nicht in den Garten des Nachbars fallen. Dieses sorgfältige Eingehen auf die Einwände ist besonders wichtig. Wenn man nicht einsieht, wie diese naheliegenden Einwände ausgeräumt werden, dann werden sie dem Verstehen immer im Weg stehen. Und dann erst bringt Wagenschein den entscheidenden Beweis für die Erddrehung: Die berühmten Fallversuche. Sie können zwar in der Schule nicht durchgeführt werden, aber eine authentische Schilderung mit Originaldaten lässt uns diesen Beweis für die Erddrehung lebendig werden. Dass Wagenschein die Fallversuche dem physikalisch weniger leicht verständlichen Foucault-Pendel vorzieht, finde ich gut. Ich finde es aber schade, dass er das berühmte Pendel ganz ausser Acht lässt. Wer mit eigenen Augen das ruhige Schwingen des langen Pendels und das langsame Drehen seiner Schwingungsrichtung im grossen Raum des Pantheons in Paris gesehen hat, der wird nie mehr zweifeln an der Drehung der Erde.

2.Funktionsziel: Erfahren, wie man ein messendes Experiment ausdenkt, ausführt, auswertet und wie man aus dem Experiment die mathematische Funktion gewinnt

Ich erwähne hier nochmals den Fallversuch: Newton hat sich als erster dieses Experiment ausgedacht. Die Durchführung des Versuchs ist aber nicht einfach, und so dauerte es über hundert Jahre, bis Guglielmini ein erstes noch fragwürdiges Resultat erhielt. Erst Benzenberg gelangen dann die überzeugenden Messungen. Die Auswertung kann anhand des Bildes mit den Aufschlagorten²⁴⁶ diskutiert werden: Warum ergibt sich diese Streuung? Und wie kann man daraus ein Resultat gewinnen? Wie zuverlässig ist dieses Resultat?

²⁴⁵ Wolfgang Klafki: Das pädagogische Problem des Elementaren und die Theorie der kategorialen Bildung; S. 338

²⁴⁶ Martin Wagenschein: Die Erfahrung des Erdballs; S.331

3.Funktionsziel: Erfahren, wie ein ganzes Teilgebiet der Physik sich mit einem andern in Beziehung setzen lässt und gleichsam darin auflösen lässt.

Newton überlegte sich, dass ein Stein, der mit immer grösserer Geschwindigkeit von einem hohen Berg waagrecht weggeworfen wird, schliesslich die Erde umkreisen muss. „So wird es glaubhaft, dass auch der Mond, da er kreist, ein von Urkräften und zu Urzeiten geworfener und um die Erde herum fallender Körper sei!“²⁴⁷ Wenn der Mond mit dem Stein verglichen wird, müsste die Schwerkraft bis zum Mond hinaus reichen. Wagenschein prüft nun, wie weit der Mond, der in jeder Sekunde rund 1 km durch den Weltraum fliegt, wie weit dieser Mond in jeder Sekunde fallen müsste, um eine Kreisbahn zu beschreiben. Das Resultat einer geometrischen Überlegung ergibt: 1,3 mm. Wagenschein vergleicht dieses Resultat mit der Strecke, die ein Stein auf der Erde in einer Sekunde fällt, nämlich rund 5 m und findet damit: der Mond ist 60 mal weiter vom Erdmittelpunkt entfernt als der Stein. Er fällt $60 \times 60 = 3600$ mal weniger weit, also nimmt die Schwerkraft mit dem Quadrat der Entfernung ab. Er hat damit das Gravitationsgesetz auf den Spuren Newtons hergeleitet aus dem Werfen eines Steins.

Klafki schreibt dazu: „Das eindrucksvollste Beispiel der exemplarisch-elementaren Anschauung einer grossen naturwissenschaftlichen Erkenntnis, das Wagenschein gibt, ist Newtons Idee, »der Mond sei in seiner Kreisbewegung verstehbar als eine um die Erdkugel herumfallende schwere Kugel«“²⁴⁸

4.Funktionsziel: Erfahren, was in der Physik ein „Modell“ ist

1. Mit Modell meint Wagenschein die Denkmodelle: die Elektronen, die nur ein Bild sind und nicht Realität, oder die Lichtstrahlen, die unserem Denken entspringen und in dieser Form in der Realität nicht vorkommen. Gibt es so etwas auch in der Himmelskunde?

Ein Beispiel ist die Vorstellung von der Schwerkraft: Wie schnell sagen wir: Alle Körper werden vom Erdmittelpunkt angezogen. „Warum ist der Mittelpunkt der Erde so lockend?“²⁴⁹ Welche Modellvorstellung haben wir von der Schwerkraft?

Wagenschein erzählt seinen Schülern, dass ein Pendel im Tibet etwas langsamer schwingt als bei uns. Das bestärkt die Vorstellung, dass die anziehende Kraft im Zentrum steckt; Tibet ist etwas weiter weg, so dass die Anziehung geringer ist. Wagenschein erzählt seinen Schülern nun, dass ein ruhendes Pendel in der Nähe eines Berges nicht ganz lotrecht hängt. „Verwunderung, Nachdenken, Nein, das muss nicht bedeuten, dass der Berg selber zieht, sondern das kann auch daher kommen, dass der Berg die aus dem Zentrum quellende Kraft besser »leitet«.“²⁵⁰ Wie steht es in einem tiefen Bergwerkschacht? Dort schwingt das Pendel wieder langsamer. Die Anziehung ist also auf der Erdoberfläche am grössten. Dann muss die anziehende Kraft in der Erdrinde wohnen, meinen die Schüler. Doch halt, dann müsste das Pendel im Bergwerkschacht ja Kopf stehen oder directionslos werden. Es bleibt nichts anderes übrig, als dass die anziehende Kraft „nicht im Zentrum, sondern im ganzen Leib steckt (Kepler)“.

Durch das gründliche Nachdenken ist von der Schwerkraft das richtige Bild gewonnen: Jedes Stück der Erde zieht an uns.

²⁴⁷ Martin Wagenschein: Der Mond und seine Bewegung; S.51

²⁴⁸ Wolfgang Klafki: Das pädagogische Problem des Elementaren und die Theorie der kategorialen Bildung, S.335

²⁴⁹ Martin Wagenschein: Die Erfahrung des Erdballs; S.319

²⁵⁰ Martin Wagenschein: Will der Stein fallen oder muss er? In: M.Wagenschein: Naturphänomene sehen und verstehen; S.198

2. Der Begriff „Modell“ kann noch in einer andern Richtung verstanden werden: Es geht um die realen Modelle, die in der Himmelskunde so oft verwendet werden: Erde, Sonne und Mond werden durch Kugeln repräsentiert und mit ihnen die Bewegungen, Grössen usw. sichtbar gemacht.

Ich konzentriere mich hier auf den Globus. Er leistet an vielen Stellen gute Dienste, zum Beispiel wenn Wagenschein schreibt: „... der Mond ist viermal kleiner als die Erde. Abstürzend würde er gerade Europa zermalmen können.“²⁵¹ An dieser Stelle stolpert man: Europa - so gross? Wenn man einen Globus nimmt und für den Mond eine Kugel, deren Durchmesser 4 mal kleiner ist, sieht man, dass es stimmt. Wir haben Probleme, uns das Volumen einer Kugel, die im Durchmesser vier mal kleiner ist, richtig vorzustellen, erst das Modell zeigt uns, wie viel kleiner der Mond wirklich ist.

Ich ergänze ein zweites Beispiel zum Globus, das nicht von Wagenschein stammt: Wenn wir von Frankfurt nach New York fliegen, sehen wir zwischendurch Eisberge unter uns. Hat der Pilot den Kurs verloren? Warum fliegt er so weit nach Norden? Wenn man auf dem Globus eine Schnur spannt von Frankfurt nach New York, dann sieht man, dass die Flugroute ganz anders verläuft als die gerade Linie auf einer Weltkarte.

Wagenschein weist andererseits auch auf die Grenzen des Globus hin: Er muss immer in einer Halterung ruhen, während die Erdkugel frei im Raum schwebt, Fliegen können um den Globus herumlaufen, aber das hat nichts zu tun mit dem Problem, warum die Antipoden nicht abfallen. Diese Warnungen vor einer allzu selbstverständlichen Verwendung des Globus scheinen mir wichtig.

5.Funktionsziel: Erfahren wie schliesslich - aufbauend auf alles Vorangegangene - der physikalische Forschungsweg selber zum Gegenstand der Betrachtung wird, einer wissenschaftstheoretischen Betrachtung.

Physik ist ein Aspekt, eine Sichtweise, die vieles ausblendet, die sich auf das konzentriert, was messbar, wiederholbar, objektiv ist. Sie sagt Richtiges, aber sie sagt nicht alles. Wagenschein hat dazu einen ganz zentralen Aufsatz geschrieben: „Die beiden Monde“: Es gibt den Mond der Physiker, in den Worten eines Astronauten: „Der Mond ist eine kalte und leblose Welt ...“²⁵² Wir können seine Grösse bestimmen, seine Masse ausrechnen, wir wissen, dass er einmal pro Monat um die Erde kreist. Das stimmt, aber das ist nicht alles. Es gibt auch den Mond der Dichter, den Mond der romantischen Gefühle: auch das ist der Mond. Wagenschein betont immer wieder, dass es wichtig ist, ob den Erfolgen der Naturwissenschaften nicht zu vergessen, dass damit nur ein Aspekt der Welt erfasst wird.

In der Himmelskunde ist dieses Problem besonders akut, da deren Erkenntnisse unser Weltbild stark beeinflussen. Wir wissen zwar, dass die Fixsterne sich auch bewegen, dass sie nicht ewig fix sind. Das darf aber nicht dazu führen, dass die Geborgenheit, die uns das regelmässige Wiederkehren der Sternbilder gibt, verloren geht. Wagenschein: „So können die Ergebnisse der Astronomie niemals auslöschen, was uns gesagt wird in jener Zuwendung zum Himmel, die aus einem viel weniger eingeschränkten Einvernehmen mit ihm hervorgeht, als die physikalische Sicht es ist.“²⁵³ Der Mensch muss um diese verschiedenen Sichtweisen wissen, er darf sich nicht gespalten fühlen, wenn er astronomische Erkenntnisse studiert und daneben Gedichte liest, „in denen der Mond keineswegs als Kugel der Masse m und die Erde nicht als Ball empfunden wird. Er soll spüren: er lebt in

²⁵¹ Martin Wagenschein: Der Mond und seine Bewegung; S.49

²⁵² Martin Wagenschein: Die beiden Monde. In: M.Wagenschein: Erinnerungen für morgen; S. 154

²⁵³ Martin Wagenschein: Die Erfahrung des Erdballs; S.339

solchen Gedichten nicht in einer scheinbaren, sondern in einer volleren und weniger eingeschränkten Wirklichkeit als in der messenden astronomischen Zuschauersicht.“²⁵⁴

Ich denke, dass Wagenscheins Darstellung in „Die Erde unter den Sternen“, insbesondere sein behutsames Vorgehen und seine poetische Sprache, dazu beiträgt, dass die Spaltung verhindert wird. Wagenscheins Darstellung steht in deutlichem Kontrast zu den gängigen Astronomiebüchern, die von Anfang an von der scheinbaren Bewegung von Sonne und Sternen sprechen, obwohl wir diese Bewegung doch Tag für Tag erleben.

6.Funktionsziel: An einigen Begriffsbildungen erfahren, wie die physikalische Art, Natur zu lichten, geistesgeschichtlich geworden ist.

Die Himmelskunde ist ein klassisches Beispiel zur Verdeutlichung dieses Ziels. Ihre Erkenntnisse prägen unser Weltbild. Die Entdeckung des heliozentrischen Weltbildes durch Kopernikus und Galilei hat deshalb die Welt erschüttert.

Ich denke, dass Wagenscheins Darstellung hilft, die Bedeutung der Himmelskunde für unser Denken spürbar zu machen. Er führt uns zuerst den Himmel so vor, wie wir ihn erleben und beobachten. Dann meldet er Zweifel an und zwingt uns, unser Bild in Frage zu stellen. Behutsam werden nun die neuen Ansichten eingeführt und begründet, so dass das neue Weltbild in uns einwurzelt. Es geht nicht um ein Wissen, das unbeteiligt gelernt wird. Der Leser erlebt, dass die Fragen der Himmelskunde den ganzen Menschen berühren und dass sie wichtig sind in der Entwicklung der Geistesgeschichte.

7.Funktionsziel: Erfahren, wie sich das technische (das erfindende) Denken von dem entdeckenden Denken unterscheidet.

Für einen Nicht-Physiker erscheint der Unterschied zwischen Entdecken und Erfinden schwer verständlich. Wagenschein verwendet ein schönes Bild, um den Unterschied deutlich zu machen: Entdecken heisst: Ich belausche ein neues Tier, bis ich es kenne. Ich frage: Wer bist du? Erfinden heisst: Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse über die Natur des Tieres kann ich es etwas tun lassen was ich will. Ich frage: Willst du wohl?!²⁵⁵

Als Beispiel für die Himmelskunde scheint mir die Drehung der Erde geeignet. Zuerst finde ich die Zweifel: Warum soll die grosse Sonne um die Erde laufen? Wie kann sie in einem Tag eine so riesige Strecke zurücklegen? Warum gehen alle Sterne gleich schnell um die Erde? Diese Fragen führen zur Entdeckung von Kopernikus: Die Erde dreht sich. Vorläufig ist es eine Hypothese, und es braucht nun die Erfindung des Fallversuchs oder des Foucault-Pendels, um die Erddrehung zu beweisen. Aber Foucault hat nicht gefragt: Wie bewegst du dich? sondern: Willst du wohl die Bewegung zugeben?

8.Funktionsziel: Erfahren, wie ohne verfrühte Mathematisierung und ohne Modellvorstellungen ein phänomenologischer (und „quantitativer“) Zusammenhang herzustellen ist, der das Grundgefüge der Physik gliedert und zusammenhält.

Ich nenne hier die Bestimmung der Entfernung des Mondes durch Lacaille und Lalande:

Der grundlegende Gedanke ist: Wenn man den Mond von zwei weit entfernten Stellen auf der Erde anvisiert, sollte man ihn unter verschiedenen Winkeln sehen und daraus seine Entfernung ermitteln können. Wagenschein veranschaulicht das

²⁵⁴ Martin Wagenschein: Die Erfahrung des Erdballs; S.339/340

²⁵⁵ vgl. auch S.98

Experiment sehr schön: „Ein Streichholz, mit Knetgummi (auf den Globus U.A.) aufgesetzt, zeigt den Berliner, ein schwarzes Streichholz, knapp einen Viertelkreis davon entfernt in Kapstadt aufgesetzt, den Kapstädter. ... Jeder sieht nur einen kleinen Umkreis, den er für die Erdscheibe hält. Deshalb setze ich jedem noch einen Papierteller unter, das ist sein Horizont. Beide sehen nun den Mond ...“²⁵⁶ Er gibt dann die Daten für die Messung von 1752 und lässt die Situation auf einem Papier aufzeichnen. „Ein Kreis von 10 cm Durchmesser sei die Erde.“ Dann wird der Berliner und der Kapstädter mit ihren Blickrichtungen zum Mond aufgezeichnet „Die Blickrichtungen laufen nicht ganz parallel, sie zielen auf den fernen Mond. Wir verlängern sie mit dem Lineal, bis wir ihn haben. Er liegt weit draussen. Das Papier muss über drei Meter lang sein.“²⁵⁷ Erst zuletzt kommt - vielleicht - noch die Trigonometrie, um eine grössere Genauigkeit zu erreichen.

Spannend, bei Wagenschein aber nicht enthalten, scheint mir, dass Aristarch mit einer ganz anderen Methode (des Vergleichs von Erdschattengrösse und Mondgrösse) zum gleichen Ergebnis kommt. Hier sehe ich einen Zusammenhang im Grundgefüge der Himmelskunde.

Die Funktionsziele beschreiben allgemeine Einsichten, die am Beispiel der Himmelskunde gewonnen werden. Exemplarisch heisst aber auch: Ein inhaltlich bedeutsames Thema wird anhand eines oder einiger prägnanter Beispiele in seiner Bedeutsamkeit zugänglich. Die Astronomie ist die älteste Naturwissenschaft. Schon immer beschäftigten sich die Menschen mit den Erscheinungen am Himmel, einerseits aus praktischen Gründen (Kalender, Tageseinteilung), andererseits aber auch aus religiösen Gründen. Später kam dann die naturwissenschaftliche Beschäftigung mit dem Himmel dazu, die aber immer auch das Weltbild des Menschen stark geprägt hat. Die Himmelskunde ist also zweifelsfrei ein bedeutsames Thema für den Unterricht.

²⁵⁶ Martin Wagenschein: Die Erde unter den Sternen; S.53

²⁵⁷ Martin Wagenschein: Die Erde unter den Sternen; S.54, auch zitiert in der Zusammenfassung auf S. 128 dieser Arbeit

4.1.4. Texte von Hans Christoph Berg

Mit Orion und Adler um die Erde²⁵⁸

Die zwei Sternbilder Orion und Adler liegen auf dem Himmelsäquator und also senkrecht über dem Erdäquator. Da sie einander fast gegenüberstehen, geht der Adler im Westen unter, wenn der Orion im Osten aufgeht. In vielen Nächten kann man beide Sternbilder am Himmel sehen, allerdings nicht gleichzeitig, sondern nur im Lauf der Nacht. Nur wenn die Sonne im Widder, Stier oder Zwilling steht, also von Mai bis Juli, wird Orion von ihr überblendet, dann sehen wir nur den Adler, und umgekehrt überblendet die Sonne den Adler, wenn sie Anfang Januar im Schützen steht.

Die Höhe des Polarsterns gibt an, auf welchem Breitengrad wir uns befinden. Am Nordkap steht der Polarstern steil über uns, unter einem Winkel von 70 Grad, gut 3000 km südlich, in Sizilien, steht er schräg unter einem Winkel von 35 Grad. Mit 12 Europasprüngen könnte man die Erde umrunden: Ein Nordkap-Siziliensprung nach Süden bringt uns zum Äquator, mit zwei weiteren Sprüngen sind wir in Südafrika, usw.

Die Rundung der Erde zeigen uns die Sterne: Wenn Orion von Deutschland aus schräg im Süden steht, ist er senkrecht über Kongo, und in Südafrika sehen wir ihn schräg im Norden. Gleichzeitig geht er für einen mongolischen Betrachter schräg im Westen unter und für einen Indianer an den nordamerikanischen Lakes geht er schräg im Osten auf.

Wenn wir umgekehrt vom Orion auf die Erde blicken, sehen wir den Kongo senkrecht unter uns, schräg im Norden liegt Deutschland, ganz am Rand glitzert das Eis der Arktis, in der Gegenrichtung sehen wir schräg nach Süden Südafrika und schliesslich das Eis der Antarktis. Und wenn wir unseren Blick auf dem Äquator nach Osten schweifen lassen, können wir auf der Erdkugel bis Sumatra blicken, im Westen können wir dem Amazonas entlang bis Equador sehen.

Die halbe Erdkugel kann man vom Orion aus also sehen. Und alle Menschen auf dieser Halbkugel, von Sumatra bis Ecuador, vom Nordkap bis Südafrika, sehen den Orion. Gleichzeitig könnte man vom Adler aus die andere Seite der Erde sehen: den riesigen pazifischen Ozean.

„Wenn wir uns zu zweit verabreden, der eine darf sich in der Himmelssänfte (Orion²⁵⁹) um die Erde tragen lassen, der andere darf mit dem Adler herumfliegen, dann können wir zusammen fast die ganze Erde überblicken und können einander an der schwebenden Erdkugel vorbei in die Augen sehen²⁶⁰: Wir treffen uns nie, aber wir sehen uns immer. Du fliegst über den Kongo und ich über Hawaii und Fidschi, sechs Stunden später hast Du den Amazonas überflogen, stehst über den Kordillern in Ecuador, rechts Nordamerika, links Südamerika, und blickst auf den Pazifik, während ich, die Mongolei im Norden und Australien im Süden, über Sumatra fliege, vor mir Ceylon, und sechs Stunden später stehe ich über dem Kongo, blicke nördlich nach Europa und südlich zum Kap und kann Dir erzählen, was in den zwölf Stunden seit Deinem Überflug hier geschehen ist.“

²⁵⁸ publiziert in: Marburger Lehrkunst-Briefe, Herbst 94, S.41-43

²⁵⁹ Während die Griechen im Sternbild des Orion eine Jäger sahen, bezeichneten ihn die Chinesen als Himmelssänfte

²⁶⁰ Weil Adler und Orion sich auf dem Himmelsäquator nicht ganz exakt gegenüberstehen

Diesterwegs Himmelskunde²⁶¹

1. Warum? Kopfschrott ade!

Die Bewegungen von Sonne, Mond und Sternen können erklärt werden, indem sich die Erde täglich um ihre Achse dreht und in einem Jahr um die Sonne kreist. Seit Kopernikus wissen wir das, es ist die Grundlage unseres Weltbildes, aber bei vielen Menschen hängt dieses Wissen in der Luft, es kann nicht verbunden werden mit dem, was wir sehen: dem Auf- und Untergehen der Sonne, den ständig wechselnden Phasen des Mondes, und viele Menschen haben noch nie mit eigenen Augen gesehen, dass sich auch die Sterne bewegen.

2. Was? Erkenntnisdrama in sechs Akten

1.Akt: Am Anfang steht das Himmelsgewölbe über der Scheibenerde. Die Sonne geht im Osten auf, erreicht im Süden ihren höchsten Punkt und geht im Westen unter. Auch der Mond und die Sternbilder bewegen sich auf diesem Himmelsweg.

2.Akt: Die Erde wird durch das Umkreisen von Sonne, Mond und Sternen zur Kugelerde. Der tägliche Rundgang der Sonne wird zur Uhr, der monatliche Wechsel der Mondphasen und der jährliche Lauf der Sonne durch den Tierkreis wird zum Kalender.

3.Akt: Eratosthenes vermass die Erde, Aristarch fand den Ansatzpunkt zur Bestimmung der Grösse und des Abstandes von Sonne und Mond. Die Himmlischen werden dadurch zu Körpern, die sich mit irdischen Mitteln begreifen und vermessen lassen.

4.Akt: Unter den Sternen sehen wir fünf mit seltsam unregelmässigem Gang. Vielleicht umrunden sie nicht uns - und gehen dabei so merkwürdig mal vorwärts, mal rückwärts -, sondern die riesige Sonne. Und wie sie auch wir. So wird die Erde zum Planeten.

5.Akt: Kant interpretierte die Milchstrasse als Sternsystem. Herschel kam durch sorgfältige Beobachtungen zu gleichen Vorstellungen über den Bau der Milchstrasse. Und Hubble gelang zu Beginn unseres Jahrhunderts der Nachweis fremder Galaxien. Der Weltraum erhielt dadurch eine unvorstellbare Grösse.

6.Akt: Einstein stellte in der Relativitätstheorie unsere Vorstellung von Raum und Zeit in Frage und gab damit dem Universum eine vierdimensionale Struktur. Hubble beobachtete, dass sich das Weltall ausdehnt und damit nicht etwas Statisches, ewig Gleichbleibendes ist, sondern dass das Universum eine Entwicklung durchläuft.

3. Wie? - Auch im Hinblick auf Diesterweg

Im Zentrum dieses Kapitels steht die Himmelskunde von Diesterweg. Seine „Populäre Himmelskunde und astronomische Geographie“ führt uns in die Himmelskunde ein und zeigt zugleich Diesterwegs Didaktik. Er schreibt: „Wer meine Unterrichtsweise kennenlernen will, findet sie am reinsten in diesem Buche“²⁶²: Am Anfang steht die sinnliche Erfahrung, hier die Beobachtung von Sonne, Mond und Sternen. Im zweiten Schritt folgt das Nachdenken über den gesetzmässigen Verlauf der Erscheinungen. Diesterweg erreicht dieses Ziel über den Zweifel: Sind die Erscheinungen wirklich so, wie sich uns zeigen? Und dann geht es an das Nachdenken dessen, was Kopernikus vorgedacht hat. Der dritte Schritt in Diesterwegs Methode ist das Aufspüren der Ursachen, die hinter den

²⁶¹ in: Hans Christoph Berg: Suchlinien; .69-80

²⁶² a.a.O., S.74

Gesetzen verborgen sind. Es ist das, was Newton geleistet hat, indem er das Gravitationsgesetz als Ursache der Bewegung der Himmelskörper fand.

4. Eine Lehrkunstminiatur zur Himmelskunde als Geburtstagsgeschenk für Diesterweg

In diesem Kapitel beschreibt Berg die Himmelsuhr, die auch im Lehrstück (im Akt: „Der Mond“) integriert ist.

1. Der erste Zeiger unserer Uhr soll der Sonne folgen. Er muss also in 24 Stunden einmal herumlaufen. Und wenn die Sonne im Süden steht, soll unsere Uhr 12 Uhr anzeigen. Auf diese Weise ist die Uhr auch zum Kompass geworden: Wird der Zeiger zu einer beliebigen Tageszeit auf die Sonne gerichtet, so finden wir Süden in Richtung 12 Uhr.

2. Wir brauchen zwei weitere Zeiger: Einer, der der Bewegung des Mondes folgt, und einen zweiten, der der Bewegung der Sterne folgt. „Täglich gewinnt der Sonnenzeiger vor dem Mondzeiger eine knappe Stunde Vorsprung und über- rundet ihn einmal binnen einem Monat. ... Der Sternzeiger gewinnt täglich vor dem Sonnenzeiger vier Minuten, ... und binnen einem Jahr überrundet der Sternzeiger den Sonnenzeiger. ... Die Uhr wurde zum Kalender.“²⁶³

3. Damit wir unsere Uhr auf Reisen benützen können, muss sie nicht nur flachrund, sondern wie unsere Erde kugelrund werden, denn wir müssen unseren Horizont umstellen können: Die Mittagssonne in Deutschland ist Morgensonne in Amerika, und sie steht in Deutschland flacher am Himmel als in Italien, ich muss also den Horizont gegenüber der Polarachse kippen können, damit die Uhr die Bewegungen am Himmel richtig wiedergibt. Die Uhr wird damit zum Erd- und Himmels- globus.

²⁶³ a.a.O., S.79

4.2. Konzept und Unterricht

4.2.1. Konzept

„Die Wahrheit über die Sterne und ihre Bewegung liegt nicht offen zutage. Sie ist wie verschlossen hinter vielen Türen. Wenn wir sie von Grund aus und auf natürliche Art einsehen wollen, müssen wir diese Türen eine nach der andern öffnen“²⁶⁴

4.2.1.1. Der Turm der Astronomie

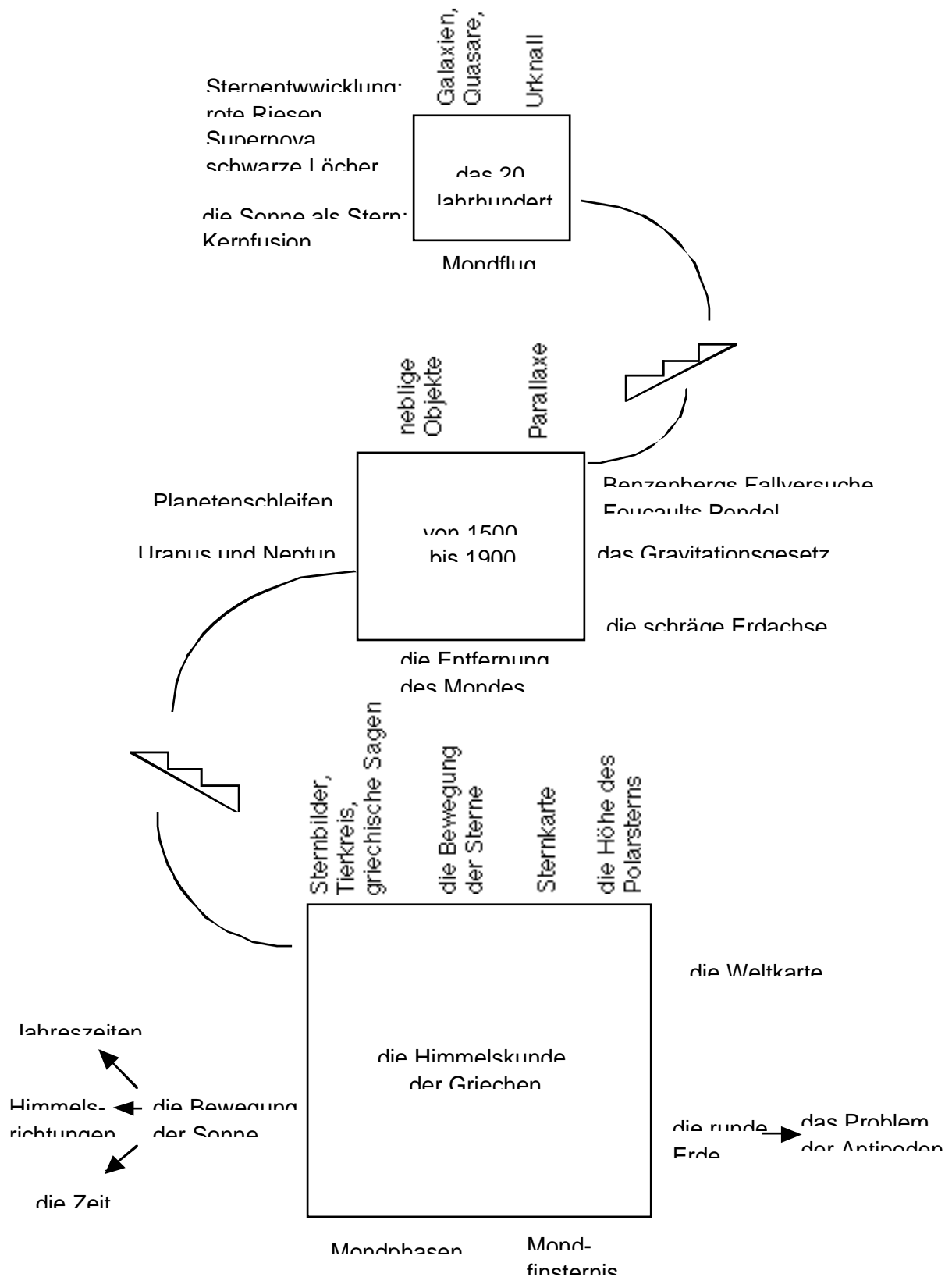
In der nachfolgenden Zeichnung (S.142) stelle ich die Entwicklung der Astronomie als dreistöckigen Turm dar. In den einzelnen Stockwerken kann man nach vier Seiten hinausschauen: Nach rechts auf die Erde, nach unten auf den Mond, nach links auf die Sonne und nach oben auf die Sterne.

Das unterste Stockwerk stellt die Astronomie der Griechen dar. Sie wussten bereits, dass die Erde eine Kugel ist. Von der Weltkarte kannten sie allerdings nur einen Ausschnitt, vor allem den Mittelmeerraum und Vorderasien. Mond und Sonne kannten sie gut: Sie waren in der Lage, Finsternisse vorauszusagen, und Aristarch schätzte auch die Entfernung der beiden Himmelskörper ab. Sie kannten die Sternbilder, denen sie die Sagen ihrer Götter zuschrieben, und sie wussten, dass die Sternbilder um den Polarstern kreisen und dass sich Sonne, Mond und fünf Planeten durch den Tierkreis bewegen. Ein grosses Problem stellten die merkwürdigen Schleifenbahnen der Planeten dar.

Im mittleren Stockwerk tritt als erster Kopernikus auf, der das heliozentrische Weltbild postulierte. Mit diesem Weltbild konnten die Schleifenbahnen der Planeten einfach erklärt werden. Mit Galilei beginnt die Zeit der Fernrohrbeobachtungen. Die weiteren Fortschritte sind eng verknüpft mit der Verbesserung der Teleskope: Neue Planeten werden entdeckt und neblige Objekte studiert. Newton entdeckt das Gravitationsgesetz und ermöglicht damit die Berechnung der Bahnen von Planeten und Kometen. Benzenberg und Foucault beweisen die Drehung der Erde um die Sonne, Bessel die Bewegung der Erde um die Sonne. Die Entfernung von Mond und Sonne werden genau bestimmt.

Im obersten Stockwerk finden wir die astronomischen Entdeckungen unseres Jahrhunderts: Hubble entdeckt, dass der Andromedanebel eine Galaxie ist. Er untersucht weitere Galaxien und entwickelt aus ihrer Bewegung das Urknallmodell. Die Entdeckungen der Kernphysik erlauben die Beschreibung der Prozesse in der Entwicklung des Universums (Wie entstehen die Elementarteilchen? Wie entstehen die chemischen Elemente?) und sie zeigen, dass die Energie von Sonne und Sternen aus der Kernfusion stammt. Es werden Modelle für die Entwicklungsstadien eines Sterns berechnet (roter Riese, Supernova) und fremdartige Objekte entdeckt (schwarze Löcher, Quasare). Die Entwicklung der Radioastronomie und der Raumfahrt schafft neue Beobachtungsmöglichkeiten. Während unser Wissen über die Vergangenheit mit der Hypothese des Urknall heute einigermaßen gesichert erscheint, ist die Zukunft ungeklärt: Wird sich das Universum immer weiter ausdehnen? Oder wird die Expansion einmal gestoppt, und das Universum fällt dann wieder in sich zusammen?

²⁶⁴ Martin Wagenschein: Die Erde unter den Sternen, S.6



Drei Zimmer in einem Turm, jedes mit mehreren Fenstern. Man braucht nicht alle Fenster zu öffnen, um in das nächste Stockwerk gehen zu können, aber man kann nicht einfach direkt zum dritten Stock durchmarschieren. Jedes Zimmer eröffnet seine eigene Sichtweise der Welt. Es ist schwierig, eine gewohnte Sichtweise, ein vertrautes Zimmer aufzugeben. Deshalb war mit dem Fortschritt zur nächsten Ebene immer eine wissenschaftliche Revolution verbunden. Es ist meines Erachtens ein didaktisch verhängnisvoller Fehler, mit dem Astronomieunterricht auf der dritten Stufe anfangen zu wollen. Man ist zu hoch, hat den Kontakt zum Boden verloren, es fehlt die Einwurzelung. Die elementaren Fundamente der eigenen Beobachtungen - der einfachen Beobachtungen mit dem unbewaffneten Auge - fehlen, und das führt dann zu einem Wissen, das nur angelernt ist, Scheinwissen, wie Wagenschein eindrücklich beweist.

4.2.1.2. Das Konzept des Himmelskunde-Lehrstücks

Ziel des Lehrstücks ist, die Bewegung von Sonne, Mond und Sternen am Himmel zu verstehen: nicht aus einer Zeichnung im Lehrbuch, sondern durch eigene Beobachtungen und durch eigenes Nachdenken: Weltanschauung braucht auch Welt-Anschauung. "Elementare Himmelskunde" heisst: ohne Vorwissen, aus eigener Beobachtung einige Türen zu öffnen. Es ist nicht möglich, alle Türen zu öffnen, um von den Anfängen bis zu den heutigen Kenntnissen vorzudringen. Wir begnügen uns im Himmelskunde-Lehrstück, die Astronomie so zu lehren, wie wir sie beobachten und wie sie auch die Griechen beschrieben: Die Erde im Zentrum mit der darum herumkreisenden Himmelssphäre.

Kann man sich das heute noch leisten: Ein einwöchiger Astronomiekurs, der nicht über die veraltete griechische Geozentrik hinausgeht? Kein Kopernikus, keine Keplerschen Gesetze, kein Gravitationsgesetz und nichts über schwarze Löcher und Supernovas?

1. Wenn Astronomie im Sinne Wagenscheins genetisch unterrichtet werden soll, dann darf die Stufe des Betrachtens des Himmels mit eigenen Augen nicht übersprungen werden. Gerade in der Astronomie wird viel zu schnell Fachwissen aufgetürmt, ohne ein Fundament aufgebaut zu haben. Als Beispiel ein neueres Astronomie-Lehrbuch: »Astronomie Grundkurs²⁶⁵«: Schon im ersten Kapitel: »Einführung in die Astronomie« ist von Galaxien und Quasaren die Rede und die Bilder (z.B. Astronaut, modernes Fernrohr) lassen völlig vergessen, dass grundlegende Erkenntnisse durch Beobachtungen mit bloßem Auge entstanden. Das Buch beginnt also im dritten Stock meines Turmes.

Wagenschein hat nachgewiesen, wie ratlos Studenten vor elementaren Fragen stehen. Die Frage: „Wo endet der Anziehungsbereich der Erde?“ konnten nur 3 von 14 Studenten richtig beantworten²⁶⁶, und die Meinung, die Mondphasen entstünden durch den Schatten der Erde, ist weit verbreitet.²⁶⁷

²⁶⁵ Friedrich Gondolatsch / Siegfried Steinacker / Otto Zimmermann: Astronomie Grundkurs; Klett, 1994

²⁶⁶ Martin Wagenschein: Naturphänomene sehen und verstehen; S.270-271

²⁶⁷ „Wie kommt es, dass die Gestalt des Mondes vom Vollmond zum Halbmond, zur Sichel und zum Neumond wechselt? Etwa achtzig Prozent der Befragten wussten keine richtige Antwort, einerlei aus welcher sozialen Schicht sie kamen“ Rudolf Kühn: Astronomie populär, dtv 189, S.7 (zitiert in M.Wagenschein: Verstehen lehren; S.62)

Viele Schüler und Schülerinnen denken, Astronomie könne nur mit dem Fernrohr betrieben werden. Gewiss hat die Astronomie seit der Einführung des Fernrohrs durch Galilei grosse Fortschritte erzielt, und jede technische Verbesserung der Fernrohre brachte auch neue Erkenntnisse. Aber die Griechen leisteten in der Astronomie schon sehr viel aus der sorgfältigen Beobachtung mit dem unbewaffneten Auge. Darum geht es im Lehrstück „Elementare Himmelskunde“.

2. Darf man heute noch ein geozentrisches Weltbild unterrichten, das ja seit Kopernikus überholt ist? Ich denke ja, denn wir sehen und erleben die Welt geozentrisch, und es scheint mir wichtig, das, was wir sehen, ernst zu nehmen und gründlich zu durchdenken, damit das Umdenken, die kopernikanische Revolution, auch wirklich verstanden werden kann. Erst wenn beides geleistet ist, das Verstehen des Geschauten und das Umdenken auf das neue Weltbild, kann die Leistung der Griechen *und* diejenige von Kopernikus, Galilei und Kepler im richtigen Licht erscheinen. Ein Unterricht, der sich auf das Vermitteln der heutigen Kenntnisse beschränkt, lässt die Griechen mit den Kristallsphären lächerlich und die kopernikanische Revolution als selbstverständlich erscheinen.

4.2.1.3. Zusammenfassung des Himmelskunde-Lehrstücks

Um das Modell „Die Erde im Zentrum der Himmelskugel“ zu verstehen, braucht es dreierlei: Erstens muss man die Erde (den Globus) kennen, zweitens muss man den Himmel (die Sternbilder) kennen und drittens muss man die Zeit (aus der Bewegung der Sonne) kennen. Dazu kommt die Bewegung des Mondes. Diese Komponenten werden im Folgenden beschrieben.

1. Die Erde

Wir beginnen diesen Teil mit der Erdkarte. Wo findet man welche Länder? Wie gestalte ich diese Sequenz, damit die Weltkarte lebendig wird? Unser Vorschlag ist, Bücher zu suchen, die die Welt widerspiegeln. Bei Erwachsenen werden das Texte aus der Weltliteratur sein, bei den Seminaristen und Seminaristinnen waren es Jugendromane, die in den verschiedenen Ländern spielten, die Volksschüler und -schülerinnen wählten Sachbücher zu den verschiedenen Ländern. Wichtig ist: Die Bücher werden von den Schülern und Schülerinnen selber ausgewählt und vorgestellt. Es geht darum, an möglichst vielen Stellen der Weltkarte ein lebendiges Zeichen zu setzen, etwas, das in der Erinnerung bleibt. Im Kreis sitzen wir um die Weltkarte herum, hören zu, was die andern erzählen, stellen auch Fragen zu den gewählten Büchern und Ländern. Der Lehrer wird dort ergänzen, wo die Schüler und Schülerinnen nichts gewählt haben.

Als nächstes lese ich einen Text des Schweizer Autors Peter Bichsel vor. Warum glauben wir denn, dass die Erde rund ist? Natürlich haben wir Satellitenbilder gesehen, aber das Wissen um die runde Erde ist viel älter.

1. Ein bekanntes Phänomen ist das Versinken von Schiffen im Meer: Wenn sie wegfahren, werden sie nicht nur kleiner, sondern der Rumpf verschwindet schon gänzlich, wenn der Mast noch sichtbar ist.

2. Bei einer Mondfinsternis wirft die Erde einen kreisförmigen Schatten auf den Mond.

3. Wenn wir nach Norden reisen, steigt der Polarstern regelmässig höher.

Es ist schade, dass alle diese Indizien für die runde Erde nicht direkt gezeigt werden können, und man begreift daher, warum wir zwar alle wissen, dass die

Erde rund ist, aber warum wir uns das so schlecht vorstellen können. Bei Thales ist die Erde noch eine Scheibe. Aristoteles kennt dann aber schon die erwähnten Beobachtungen und ist von der Kugelgestalt der Erde überzeugt. Erathostenes gelingt schliesslich die Berechnung des Erdumfangs. Wagenschein weist noch auf einen weiteren wichtigen Punkt hin: Das Problem der Antipoden, das Problem von "unten".²⁶⁸

Der nächste Schritt führt die Teile (I) Länder auf der Karte und (II) Kugelgestalt der Erde zusammen: Die ausführliche Schilderung der ersten Weltumsegelung durch Magellan führt uns zum Globus: Von uns bis Amerika ist erst ein Viertel der Erde umrundet. Nach einer halben Umrundung sind wir mitten im pazifischen Ozean und nach drei Vierteln sind wir bis China gekommen. Wo liegt Feuerland, wo Magellan den Durchgang vom Atlanik in den Pazifik fand? Und wo liegen die Philippinen, wo Magellan den Tod fand?

2. Die Sterne

Am Anfang steht die Beobachtung des Nachthimmels. Wir lernen die Sternbilder kennen, erzählen die zugehörigen griechischen Sagen, staunen und stellen schliesslich auch fest, dass sich die Sterne bewegen: Die Sternbilder des Tierkreises ziehen dieselbe Bahn über den Himmel wie die Sonne, der grosse Bär und Cassiopeja, nur der Polarstern bleibt an seinem Ort. Als nächstes wollen wir eine Karte zeichnen, die uns die Orientierung am Himmel ermöglicht. Wir zeichnen dazu die Sternbilder in den Horizont des Beobachtungsortes. Um der Bewegung der Sterne Rechnung zu tragen, übertragen wir die Sternbilder auf eine Folie, die wir beim Polarstern an der Horizontscheibe befestigen. Da der Polarstern unverrückbar am Himmel steht, ist er auch am Tag da. Wir sehen ihn nur deshalb nicht, weil er vom Licht der Sonne überstrahlt wird. Auch der Bär und Cassiopeja wären zu sehen, sie stehen so nahe beim Polarstern, dass sie nie unter den Horizont tauchen. Und dort, wo wir nachts die Sternbilder des Tierkreises gesehen haben, dort müssten jetzt andere Sternbilder stehen. Anhand einer vorbereiteten Zeichnung lernen wir diese Sternbilder kennen. Wir bauen dann eine drehbare Sternkarte und lernen, wie man sie einstellt.

3. Der Mond

Im Laufe einer Woche kann man gut sehen, wie der Mond seine Gestalt ändert. Wir überlegen uns, wie diese Phasen entstehen. Das gelingt besonders gut bei Halbmond, wenn man Sonne und Mond gemeinsam am Himmel sehen kann. Und wenn wir den Mond nachts beobachten können, dann sehen wir, dass er langsamer über den Himmel läuft als die Sterne: Jeden Tag bleibt er im Tierkreis ein Stück hinter seinem Platz der letzten Nacht zurück. In einem Monat läuft er so durch den ganzen Tierkreis. Wir kommen so zur Himmelsuhr: Der Umlauf der Sonne legt den Tag fest. Wenn die Sonne den Mond überrundet, ist ein Monat vergangen, und wenn sie ihrerseits von den Sternen überrundet wird, ist ein Jahr vergangen.

4. Die Sonne

Der Lauf der Sonne bestimmt unsere Zeit. Im Sommer steht sie hoch am Himmel, im Winter viel tiefer über dem Horizont, aber immer wenn der Schatten am kürzesten ist, ist es Mittag. Merkwürdigerweise ist das nicht um 12 Uhr. Sommerzeit, Zeitzonen und Zeitgleichung können eine wesentliche Abweichung bewirken, das gilt es behutsam zu entdecken. Zugleich bildet die Sonne einen Kompass: Am

²⁶⁸ vgl. Martin Wagenschein: Die Erde unter den Sternen; S.11-13

Mittag steht sie genau im Süden, so dass der kürzeste Schatten nach Norden zeigt, dort wo nachts der Polarstern steht.

5. Die Erde unter den Sternen

In diesem Teil werden die vier beschriebenen Komponenten zusammengefügt. Auf eine Glaskugel, in deren Mitte sich ein kleiner Globus befindet, werden die Sternbilder so aufgemalt, wie wir sie am Himmel beobachtet haben. Auch Sonne und Mond werden aufgezeichnet und dann durch Drehen der Glaskugel um den Globus die Bewegungen der Himmelskörper dargestellt.

Zuerst die tägliche Drehung des Himmels um die Erde: Wer sieht die Sonne senkrecht über sich, wenn sie bei uns aufgeht? Wie sieht ein Mensch in Südafrika und einer in New York die Sonne, wenn wir Mittag haben? Wo steht der Orion, wenn wir abends den Adler beobachten (Orion liegt auf dem Himmelsäquator dem Adler gegenüber)? Wo steht der Adler senkrecht über der Erde, wenn wir ihn im Süden sehen? Und was sieht der Adler dann von der Erde?

Und dann die Veränderung im Laufe des Jahres: Sonne und Mond bewegen sich durch den Tierkreis. Man muss sie also von der Glaskugel wegwischen und - zum Beispiel ein halbes Jahr später - wieder im Tierkreis einzeichnen. Man sieht dann die Veränderung: Die Sonne steht nun tief über dem Horizont, und wir sehen nachts einen andern Bereich des Sternenhimmels: Der Orion dominiert den Himmel, während der Adler sich zurückzieht.

6. Der Ausblick²⁶⁹

In einem Diavortrag erhalten die Schüler und Schülerinnen einen Ausblick in die Entdeckungen der Astronomie von den Griechen über Kopernikus, Galilei, Kepler und Newton bis zum Urknall und den schwarzen Löchern. Dabei wird auch klar, wie unser Vorstellungsvermögen begrenzt ist: Die unermesslichen Distanzen²⁷⁰, die Erschütterung, als die Erde ihre zentrale Stellung im Kosmos verlor²⁷¹, die Erkenntnis, dass wir die Sterne nicht so sehen, wie sie jetzt sind, sondern dass wir, je weiter ein Stern von uns entfernt ist, umso mehr auch in die Vergangenheit schauen.

²⁶⁹ Die Schüler und Schülerinnen erwarten von einem Astronomie-Kurs natürlich, dass sie etwas über schwarze Löcher und Supernovas erfahren. Deshalb schliessen wir den Kurs mit diesem Ausblick ab. Die Metapher von Daniel Ahrens hat sich sehr bewährt: Im Laufe unseres Himmelskunde-Kurses wollen wir ein Stück weit am Berg der Astronomie selber klettern. Am Schluss der Woche werden wir dann mit dem Lift zum Gipfel fahren. Hans Glöckel hat diesen Schluss in seinem Vortrag in Naurod am 2.3.99 ausdrücklich gelobt.

²⁷⁰ Die Astronomen drücken die Entfernungen in Lichtjahren aus. Aber was stellen wir uns vor, wenn ein Stern einige Lichtjahre, eine Galaxie einige Millionen Lichtjahre und die entfernten Quasare einige Milliarden Lichtjahre weg sind?

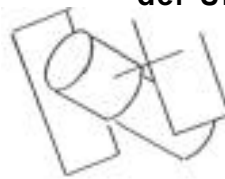
²⁷¹ Blaise Pascal: „Das ewige Schweigen dieser unendlichen Räume erschreckt mich“, vgl: Alexandre von Koyré: Von der geschlossenen Welt zum unendlichen Universum, S.49

DER AUSBLICK

Kopernikus und Galilei:
das heliozentrische Weltbild



Hubble:
der Urknall



DIE STERNE



Die Horizontkarte

Sternbilder und
griechische Sagen



Die Sternkarte

Mit Orion und
Adler um die Welt



DER MOND



Die Mondphasen



Die Himmelsuhr

DIE ERDE INMITTEN VON SONNE, MOND UND STERNEN



Der Globus

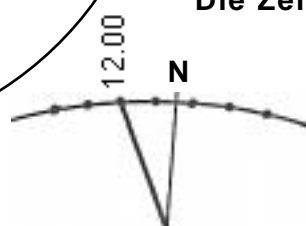


Die Weltkarte

DIE ERDE



Die Zeit



Der Kompass

Die Schattenlinie

DIE SONNE

Weltanschauung braucht auch Welt-Anschauung

4.2.1.4. Entwicklungsgeschichte des Lehrstücks

Das Lehrstück „Elementare Himmelskunde“ hat eine lange Entwicklungsgeschichte hinter sich. Die nachfolgende Zusammenstellung zeigt die wichtigsten Stationen. Ausgehend von Daniel Ahrens Unterricht an der Ecole d'Humanité 1990 wurde in Seminaren und neuen Inszenierungen immer wieder mit dem Lehrstück gerungen, bis es seine jetzige Form fand. Die wichtigsten Veränderungen gegenüber der Erstfassung (publiziert im Lehrkunst-Buch) sind:

- Die Komponente „Weltkarte und Globus“ kam neu dazu.
- Bei Ahrens lautete der Aufbau: Von der Schattenlinie zur Sternkarte. In der heutigen Fassung ist das Modell „Die Erde im Zentrum der Himmelskugel“ das Ziel des Kurses. Es wird entwickelt aus den vier in ihrer Reihenfolge unabhängigen Komponenten „Erde“, „Sterne“, „Sonne“ und „Mond“.

Nachfolgend sind Inszenierungen des Lehrstücks, Vorträge und Publikationen in chronologischer Reihenfolge zusammengestellt:

- Lüderalp, Herbst 1989: Lehrerfortbildungskurs
Berg, Raebiger, Winnenburg, Gessler;
Bericht von Kugelman in BzL 1/90
- Ecole d'Humanité, Sommer 1990: 1 Woche Unterricht an einer 7. Klasse;
Ahrens
Bericht von Ahrens/Aeschlimann/Berg im Lehrkunstbuch, S.65 - 90
- Ecole d'Humanité, Herbst 1990: 1 Woche Unterricht an einer 7.Klasse;
Aeschlimann
- Lüderalp, Herbst 1990: Fortbildungskurs für Seminarlehrer/innen und
Praxislehrer/innen des Seminars Liestal
Berg, Eichenberger, Raebiger, Winnenburg, Ahrens, Aeschlimann
- Ecole d'Humanité, Herbst 1992: 1 Woche Unterricht an einer 7.Klasse;
Ahrens
- Lüderalp, Herbst 1993: Fortbildungskurs für Dozenten und Dozentinnen des
Technikums Winterthur;
Berg, Eichenberger, Aeschlimann
- Mit Adler und Orion um die Welt.
Berg
In: Marburger Lehrkunstbriefe, Herbst 94
- Langenbruck, Sommer 1995: Lehrerfortbildungskurs des Kantons Basel-Land
Berg, Eichenberger, Aeschlimann
Bericht in: Basellandschaftliche Schulnachrichten 6/95 (Moser)
- Hannover, Herbst 1995 (Wagenscheintagung):
Vortrag von Aeschlimann und Berg über den Kurs in Langenbruck

- Prés d'Orvin, Sommer 1996: Studienwoche für eine Klasse des Lehrerseminars Bern
Aeschlimann
- St.Gallen, Herbst 1996 (Kongress für Bildungsforschung):
Vortrag von Berg und Aeschlimann,
publiziert in: „Lernkultur im Wandel“, S.132-135
- Golaten, Frühjahr 1997: Unterricht in einer 5. - 9. Klasse der Primarschule des Kantons Bern,
Aeschlimann
- Prés d'Orvin, Sommer 1998: Studienwoche für eine Klasse des Lehrerseminars Bern,
Aeschlimann
- Seminarveranstaltungen an der Universität Marburg:
 - WS 97/98: „Wagenscheins Himmelskunde“ im Rahmen des Seminars:
„Wagenscheins Lehrstücke und Lehrregeln“
 - SS 98: Das Lehrstück „Elementare Himmelskunde“ im Rahmen des Seminars:
„Exempel eines genetisch-dramaturgischen Physik- und Chemieunterrichts“
 - WS 98/99: Das Lehrstück „Elementare Himmelskunde“ im Rahmen der
„Ringvorlesung: Unterrichtsexempel kooperativ optimieren“
Aeschlimann / Berg
- Weltkarte und Globus,
Aeschlimann
In: „Neue Schulpraxis“ 12/98

4.2.2. „Unterrichtsbericht“ über eine fiktive Studienwoche zum Lehrstück „Elementare Himmelskunde“

Lehrstücke werden in der Lehrkunst immer als Bericht eines realen Unterrichts vorgelegt. Da die Himmelskunde aber sehr stark von äusseren Einflüssen abhängt, lege ich hier einen Bericht vor über einen fiktiven Unterricht unter idealen Bedingungen. Der Bericht stützt sich auf die Erfahrungen der realen Inszenierungen. Er soll zeigen, wie das Lehrstück konzipiert ist, und ich werde danach zeigen, wie dieses Konzept in verschiedenen Kursen ausgestaltet wurde.

Ich gehe davon aus, dass ich mit einer 9.Klasse für eine Woche von der Schule wegfahren kann, um mich ganz auf die Himmelskunde zu konzentrieren²⁷². Als Datum habe ich ausgesucht: Montag 16.August 99 bis Freitag, 20.August 99. Folgende Gründe haben mich bewogen, dieses Datum auszusuchen:²⁷³

1. Im Sommer sind die Nächte zum Beobachten sehr kurz, im Winter sind sie zwar lang, aber sehr kalt, Das gewählte Datum ist ein Kompromiss. Die Sonne geht am Abend um 20.30²⁷⁴ unter, die Dämmerung ist um 22.00 zu Ende. Am Morgen beginnt die Dämmerung um ca. 5.00.

2. Am Donnerstag dieser Woche ist zunehmender Halbmond. Von den Planeten sind Jupiter und Saturn am Morgenhimmel zu sehen. Venus ist leider unsichtbar.

Montag, 16.August: Um halb neun treffen wir uns auf dem Bahnhof in Bern. Die Schüler sind für diese Himmelskunde-Woche gut motiviert, denn die Sonnenfinsternis der Vorwoche hat ihr Interesse für das Thema geweckt. Mit dem Zug fahren wir nach Biel und von dort mit dem Postauto nach Prés d'Orvin. Dort müssen wir unsere Rucksäcke schultern. Nach einem dreiviertelstündigen Aufstieg durch die Wiesen des Juras gelangen wir zu unserem Haus, das auf der Kante einer Jurakette liegt. Den Ort habe ich so gewählt, dass man einen guten Rundblick in alle Himmelsrichtungen hat. Nach einer Mittagspause treffen wir uns um 15 Uhr zum Beginn unserer Arbeit. Ich habe die Schüler und Schülerinnen gebeten, Papier und Farbstifte mitzunehmen. Ein fünfminütiger Spaziergang bringt uns zu einer Stelle, wo wir freie Rundschau haben. Ich erkläre das Panorama: Im Süden sind hinter dem Berner Mittelland die Alpen mit Eiger, Mönch und Jungfrau zu sehen. Im Norden sehen wir die weiteren Ketten des Juras, im Westen den markanten Sendeturm auf dem Chasseral. Wir wollen diese Rundschau nun zeichnen. Ich bitte die Schüler und Schülerinnen, vier Zeichnungen anzufertigen: Die erste zeigt den Blick nach Süden, die nächste denjenigen nach Westen usw. Es geht in diesem ersten Schritt darum, das, was wir sehen, auf Papier zu bringen. Ich habe den Schülern und Schülerinnen gesagt, dass für unsere Zielsetzung der Horizont besonders wichtig ist. Es geht also darum, dass man vereinfacht, dass markante Elemente in den richtigen Proportionen festgehalten werden. Der zweite Schritt besteht dann darin, diese vier Ausschnitte zu einem Rundpanorama zusammenzusetzen. Und weil wir ja den Himmel mit Sonne Mond und Sternen betrachten wollen, müssen wir das Panorama so zeichnen, wie wenn wir auf dem Boden liegen würden, mit Blick nach oben. Ich habe den Schülern und Schülerinnen als Anleitung gesagt, dass sie einen Kreis mit einem Durchmesser von etwa 10 cm

²⁷²Am Staatlichen Seminar Bern sprechen wir von einer Studienwoche. Es sind aber auch andere Bezeichnungen gebräuchlich: Projektwoche, Schulverlegungswoche, Klassenfahrt.

²⁷³Üblicherweise ist man bei der Wahl des Datums nicht völlig frei. Für die beiden Kurse des Lehrerseminars in Prés d'Orvin (s.Kapitel 4.2.2) war das Datum fest vorgegeben.

²⁷⁴Alle Zeiten sind in MESZ (mitteleuropäische Sommerzeit) angegeben, der Zeit also, die wir auf unserer Uhr ablesen.

zeichnen sollen, der unseren idealen Horizont darstellt, und über diesen idealen Horizont wird nun der reale Horizont gezeichnet. Bäume und Berge zeigen auf unserer Zeichnung Richtung Zentrum und dabei treten Krümmungen und Verzerrungen auf, die nicht einfach zu bewältigen sind. Es ist deshalb wichtig, auf die vier Zeichnungen des ersten Schritts zurückgreifen zu können. Einige Schüler und Schülerinnen bewältigen die Aufgabe allein, andern muss ich helfen. Nach zwei Stunden haben alle ihr Rundpanorama gezeichnet und auf Karton aufgeklebt. Wir haben damit die Horizontkarte vorbereitet und gleichzeitig den Beobachtungsplatz kennengelernt, wo wir am Abend die Sterne betrachten wollen.



Horizontzeichnen
5.-9.Klasse; Golaten 1997

Kurz vor 21 Uhr treffen wir uns dann wieder auf dem Beobachtungsplatz. Die Sonne ist schon untergegangen, aber es ist noch ziemlich hell. Im Westen sehen wir gerade die Sichel des Mondes untergehen. Langsam tauchen dann die ersten Sterne auf. Zwei helle Sterne stehen fast senkrecht über uns, ein dritter ist in halber Höhe nach Süden zu erkennen. Es ist das Sommerdreieck mit Deneb, Wega und Atair. Gegen Westen sieht man den hellen Arktur. Mit zunehmender Dunkelheit tauchen mehr Sterne auf. Im Nord-Osten, wo es etwas finsterner ist, erkennt eine Schülerin das Himmels-W: die Cassiopeja. Ich erzähle die Sage von der griechischen Königin Cassiopeja und ihrer Tochter Andromeda²⁷⁵. Natürlich wollen die Schüler und Schülerinnen wissen, ob man Andromeda und ihren Retter Perseus auch sehen kann. Ja, wenn es noch etwas dunkler wird, werden die beiden Sternbilder unterhalb der Cassiopeja im Nordosten zu sehen sein. Ein Schüler hat vom Andromeda-Nebel gehört. Was ist das? Ich erkläre hier nur, dass wir ihn im Sternbild Andromeda sehen können. Im Unterschied zu den Sternen sehen wir ihn nicht als Punkt, sondern als kleinen nebligen Fleck. Man braucht allerdings eine klare Sicht, um den Andromedanebel mit blossen Auge zu sehen. Inzwischen können wir im Nordwesten den grossen Bär erkennen. Beim Deneb, den wir als einen der ersten Sterne erblickt haben, ist jetzt das ganze Sternbild des Schwans aufgetaucht, auch Leier und Adler kann ich zeigen und daneben den Herkules, die Krone und den Bootes. Inzwischen ist es schon 22 Uhr, und wir können deutlich erkennen, dass sich der Arktur bewegt hat, er steht nun schon ganz nahe am Horizont. Eine Schülerin will wissen, wo der kleine Bär ist. Ich zeige, wie man ihn vom grossen Bären aus finden kann. Ein Schüler weiss, dass dort der Polarstern ist. Richtig: an der Spitze des Schwanzes.

²⁷⁵ Literatur: Wolfgang Schadewaldt: Sternsagen und Werner Perrey: 46 Sternbilder und ihre Legenden.

Ich zeige den Schülern und Schülerinnen dann den Drachen, der sich zwischen den beiden Bären hindurchwindet und den Herkules bedroht. „Wo liegt der Orion?“ will ein Schüler wissen. „Orion sieht man im Winter“ weiss ein anderer. Ja, richtig, Orion werden wir diese Woche nicht sehen können. Warum? Diese Frage lasse ich offen. Mit einem Rundgang beschliessen wir um 22.30 diese Sternbeobachtung: Wo ist der Schwan? und Cassiopeja, Bär Adler - ja, die wichtigsten sind uns schon ein bisschen vertraut.

Dienstag: Der Dienstagmorgen beginnt damit, dass die Schüler und Schülerinnen einen Text schreiben zur Sternbeobachtung. Es geht darum, sich zurückzuerinnern: Was haben wir gesehen? Aber es geht auch darum, seine Gefühle festzuhalten. Die Beobachtung der Sterne, draussen in der finsternen Nacht, und das Erzählen der Sagen löst erfahrungsgemäss bei vielen Schülern und Schülerinnen starke Emotionen aus.

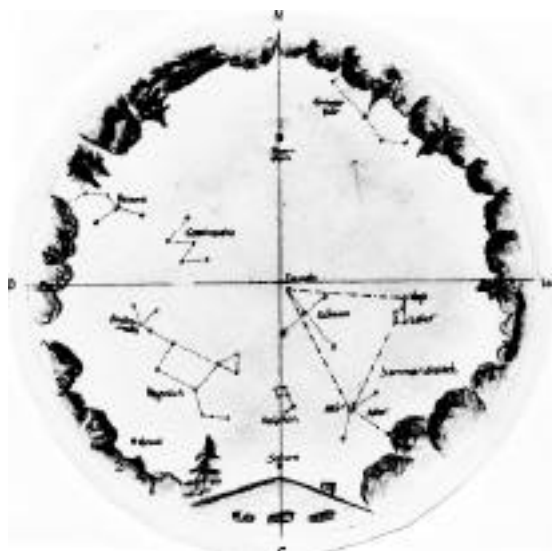
Im Anschluss an diese Arbeit werten wir die Beobachtungen gemeinsam aus: Ich habe den Horizont auf einem grossen Papier (70x70cm) aufgezeichnet und wir versuchen nun, die Sternbilder so einzutragen, wie sie gestern Abend am Himmel standen: Das Sommerdreieck: die Leier fast senkrecht über uns, der Schwan etwas östlich davon, mit dem Kopf fliegt er Richtung Süden. Wir halten das Blatt über unsere Köpfe und zeichnen diese beiden Sternbilder ein. Der Adler stand etwa auf halber Höhe Richtung Süden, wir halten das Blatt also senkrecht Richtung Süden und versuchen, den Adler einzutragen Stimmt es? Nein, der Kopf des Schwan war zwischen Leier und Adler. Doch, der Adler ist richtig, aber der Schwan ist zu gross geraten. Und so geht es weiter: Im Nordwesten steht der grosse Bär - wie war schon wieder sein Schwanz gekrümmt? - von dort aus finden wir den Polarstern, und gegenüber dem Bären im Nordosten Cassiopeja. Arktur im Bootes fehlt noch, er stand knapp über dem Horizont im Westen. Er lässt sich auch durch Verlängern des Schwanzes des Bären finden, wir können damit prüfen, ob wir diesen richtig gezeichnet haben.



Die Sterne werden in die Horizontzeichnung eingetragen.

5.-9. Klasse, Golaten 1997

Wir haben nun gemeinsam eine Karte gezeichnet, mit der wir uns am Himmel orientieren können, eine Himmelskarte gewissermassen. Wir nennen sie Horizontkarte, weil wir die Sterne in den Horizont unseres Beobachtungsortes eingezeichnet haben. Die Schüler und Schülerinnen übertragen nun die Sternbilder von unserer grossen, gemeinsamen Zeichnung auf ihre eigene Horizontzeichnung.



Die Karte hat einen grossen Nachteil: sie gilt nur für 22 Uhr im August, denn wir haben ja gesehen, dass sich die Sterne bewegen. Die Lösung dieses Problems wird rasch gefunden: Wir müssen die Sterne auf eine durchsichtige, drehbare Scheibe zeichnen, dann können wir ihre Bewegung auf der Karte nachvollziehen. Ich teile allen Schülern und Schülerinnen eine Klarsichtfolie aus und bitte sie, mit einem wasserfesten Folienstift die Sterne von ihrer Zeichnung auf die Folie zu übertragen. Mit einer Reisszwecke wird die Folie auf der Horizontzeichnung befestigt - es ist schnell klar, dass die Reisszwecke nicht im Zentrum durchgesteckt werden darf - sonst würden alle Sterne Kreise um den Zenit machen und es gäbe keine Auf- und Untergänge - sondern beim Polarstern. Sofort beginnt das Ausprobieren: Geht der Arktur nun wirklich unter? Ja, und später wird auch der Adler untergehen, während der Schwan nur ganz knapp den Horizont streift und Cassiopeja und der grosse Bär immer am Himmel stehen bleiben. Also auch am Tag? Ja, es wird uns klar: Auch am Tag stehen Sterne am Himmel, nur werden sie von der Sonne überblendet. Wo wäre der grosse Bär jetzt? Von unserer Beobachtungseinstellung müssen wir mit der Folie eine halbe Drehung machen, der Bär wäre jetzt im Nordosten und Cassiopeja im Nordwesten, sie haben also gerade die Plätze getauscht. „Gibt es auch Sterne, die immer nur am Tag am Himmel stehen?“ will eine Schülerin wissen. Ich beantworte diese Frage: „Ja, zum Beispiel Orion, den wir gestern am Himmel nicht gefunden haben, der wäre jetzt im Süden sehr schön zu sehen.“ „Warum sieht man ihn dann im Winter?“ Diese Frage muss ich vorläufig offen lassen. Wenn ich auf solche Fragen eingehe, dann verlassen wir zu früh unsere Beobachtungen und gehen auf eine abstrakte Ebene, mit Modellen, usw. War nicht auch die Antwort mit Orion zu früh? Ich denke nicht, denn einige Schüler und Schülerinnen kannten ja den Orion und wussten, dass er im Winter zu sehen ist, und wenn ich den Schülern und Schülerinnen sage, dass er jetzt im Süden steht, dann verbaue ich noch nichts mit Modellen.

Dienstagnachmittag:

Von 14-15 Uhr haben die Schüler und Schülerinnen Zeit, ihre Hefte nachzuführen. Heute soll vor allem die Entstehung der Horizontkarte beschrieben werden. Um 15 Uhr treffen wir uns dann zur gemeinsamen Arbeit. Ich habe auf einem grossen Blatt Papier alle Sterne, die wir am Himmel sehen können - auch diejenigen, die jetzt nicht sichtbar sind, sondern erst im Winter - als schwarze Punkte aufgezeichnet. Ein Gewirr von Punkten - wie soll man sich da zurechtfinden? Wenn man sich

etwas in das Bild vertieft, wird man das eine oder andere Sternbild erkennen, zum Beispiel Cassiopeja und den grossen Bären. Wir verbinden die entsprechenden Punkte zu Sternbildern, und nun haben wir schon Anhaltspunkte. Zwischen Cassiopeja und dem grossen Bären muss der Polarstern mit dem kleinen Bären liegen, bei Cassiopeja können wir Andromeda und ihren Retter, Perseus mit dem geflügelten Pferd Pegasus, suchen.

Wo liegt das Sommerdreieck mit Schwan, Adler und Leier? Die Krone fällt auf, und zwischen Krone und Leier finden wir den Herkules. Man merkt: Wir tasten uns vorwärts entlang den Sternbildern, die wir in der Nacht selber gesehen haben und die wir mit der Horizontkarte vertieft haben. Ich ergänze noch den Schützen, den wir am Horizont auch noch gesehen haben, und daneben den schönen Skorpion, der bei uns im Juni und Juli im Süden über den Horizont steigt, jetzt im August aber schon hinter den Jurahügeln verschwunden ist. Eine Schülerin erinnert sich²⁷⁶: „In den Sommerferien habe ich den Skorpion in Italien sehr schön gesehen“. Eine andere Schülerin fragt: „Schütze und Skorpion sind doch Sternzeichen. Gibt es die andern auch am Himmel?“ Lehrer: „Welche kennt ihr noch?“ Im Nu haben wir die zwölf Namen zusammen. Lehrer: „Einige davon sind Sternbilder, die man am Himmel sehr gut erkennen kann, zum Beispiel Löwe, Zwillinge und Stier. Andere wiederum sind schwieriger zu finden, aber alle stehen am Himmel.“ Ich zeichne alle zwölf Tierkreis-Sternbilder ein. Schüler: „Warum liegen die auf einem Kreis?“ Schülerin: „Was ist das besondere an diesen Sternbildern?“ Lehrer: „Wo müssten wir jetzt die Sonne einzeichnen?“ Wir überlegen: Um Mitternacht stand der grosse Bär fast im Norden, also unterhalb des grossen Bären müsste die Sonne sein. Lehrer: „Ja, die Sonne müssten wir jetzt im Sternbild Krebs einzeichnen. Und der Krebs wandert nun im Laufe des Tages mit der Sonne über den Himmel, nur können wir ihn nicht sehen, weil die Sonne so hell ist. Die Sonne ist aber eine kleine Spur langsamer als die Sterne, und in einem Monat würde sie dann im Sternbild Zwillinge stehen. Und so wandert die Sonne im Laufe des Jahres durch alle Sternbilder des Tierkreises.“ Schülerin: „Aber ich habe morgen Geburtstag und ich bin kein Krebs, sondern ein Löwe. Müsste die Sonne nicht im Löwen stehen?“ Lehrer: „Bei den Griechen war das so. In den zweitausend Jahren seither hat sich das um ein Sternbild verschoben. Die Astrologen haben einen Grund, warum sie die Stellung der Griechen beibehalten haben, aber das würde zu weit führen, das jetzt hier zu erklären.“ Schülerin: „Ich habe Aszendent Löwe und bin im Dezember geboren?“ Lehrer: „Der Aszendent hat nichts mit der Sonne zu tun. Er ist das Sternzeichen, das gerade am Horizont aufging, als du geboren wurdest. Je nach Tageszeit kann das irgend eines der zwölf Tierkreiszeichen sein.“ Wir wollen nicht auf die Astrologie eingehen²⁷⁷, sondern die Sternkarte fertig zeichnen. Ich umkreise zunächst mit Farbe, was wir gestern um 22 Uhr gesehen hatten: Im Süden den Adler, im Osten den Pegasus, im Nord-Westen den grossen Bären: Der Horizont unter diesen Sternbildern erscheint als Oval, das den Ausschnitt des Himmels bezeichnet, den wir um diese Zeit gesehen hatten. Warum es ein Oval ist und nicht ein Kreis, wie man erwarten würde, kümmert uns nicht. Wichtig ist nur: Im Osten tauchen im Laufe der Nacht neue Sternbilder auf, während andere am Westhorizont verschwinden.

Wir fahren nun weiter mit den Sternen, die wir am Abend nicht gesehen haben: Wir finden Orion, den Fuhrmann und haben zusammen mit dem Stier und den Zwill-

²⁷⁶ Diese Sequenz basiert auf Aufzeichnungen der Inszenierung in Prés d'Orvin 98

²⁷⁷ Die Astrologie ist für viele Schüler und Schülerinnen ein brennendes Thema. Ich klammere aber diese Fragen bewusst aus der Himmelskunde aus. Nicht weil ich nichts davon halte, sondern weil ich deutlich machen will: Astronomie und Astrologie sind zwei ganz verschiedene Felder.

lingen, die wir im Tierkreis schon gezeichnet hatten, die Sternbilder gezeichnet, die im Winter den Nachthimmel beherrschen. Damit sind die wichtigsten Sternbilder bezeichnet. Ich verteile nun den Schülern und Schülerinnen eine Kopie, auf der die Sterne der wichtigsten Sternbilder als Punkte aufgezeichnet sind, und bitte sie, die Sternbilder einzuzeichnen und anzuschreiben. Dann wird die Kopie auf Karton aufgeklebt und mit einer Reisszwecke eine Deckfolie angebracht, auf der der sichtbare Himmelsausschnitt angegeben ist. Eigentlich ist die Karte falsch gemacht, denn wenn wir die Sternkarte nun einstellen wollen, drehen wir die Folie, also eigentlich den Horizont. Richtig wäre, den Horizont auf den festen Karton zu kleben und die Sterne auf die bewegliche Folie, denn wir sehen ja die Bewegung der Sterne am Himmel. Auf jeder gebräuchlichen Sternkarte sind die Sterne aber auf den Karton gedruckt und der Himmelsausschnitt wird gedreht.

Als alle Schüler und Schülerinnen ihre Sternkarte fertiggestellt haben, erkläre ich, wie man sie einstellt: Die Zeit der Beobachtung auf der drehbaren Folie wird auf das entsprechende Datum auf der Kartonscheibe gedreht. Mit einigen Übungen zum Einstellen der Sternkarte beenden wir diesen Nachmittag: Was sehen wir morgens um vier Uhr? Wann würde der Orion jetzt aufgehen? Wann kann man den Orion im Oktober, wann im Januar sehen?

Mittwoch:

Kurz nach drei Uhr reisst mich der Wecker aus dem Schlaf. Der Himmel ist wunderbar klar. Ich ziehe mich warm an, stelle das Fernrohr²⁷⁸ auf und wecke gegen halb vier Uhr die Schüler und Schülerinnen. Verschlafen kommen sie nach und nach vors Haus. Im Fernrohr habe ich den Jupiter eingestellt, man kann den Planeten mit seinen Wolkenbändern und die vier grössten, von Galilei entdeckten Monde, zwei auf der linken Seite und zwei auf der rechten Seite des Planeten²⁷⁹, deutlich sehen. Dann gehen wir zum Beobachtungsort. Der Himmel bietet jetzt einen ganz andern Anblick als am Montagabend. Fast senkrecht über uns steht Cassiopeja, während der grosse Bär tief im Norden steht, zum Teil schon hinter den höchsten Tannen verdeckt. Das Sommerdreieck mit Schwan, Adler und Leier sehen wir gegen Westen, der Adler wird schon bald untergehen. Im Osten ist der Stier schön zu sehen, auch Capella aus dem Fuhrmann funkelt hell. Eine Schülerin entdeckt die Plejaden. Gegen halb vier, als wir unsere Beobachtung des Morgenhimmels beenden, tauchen Castor und Pollux aus dem Sternbild der Zwillinge auf, von Orion dagegen ist erst Betelgeuze zu sehen, der Rest des Sternbilds versteckt sich noch hinter den Bäumen. Bevor wir wieder schlafen gehen, dürfen die Schüler und Schülerinnen mit dem Fernrohr den Saturn bewundern, für viele ein ganz besonders Erlebnis. Brigitte schreibt in ihrem Heft: „Bevor ich dann um etwa 4.30 wieder ins Bett ging, bestaunte ich den Planeten Saturn im Fernrohr. Dieser sah so wunderbar aus, wie ich ihn mir bisher nur vorgestellt und auf Bildern gesehen hatte. Dies war ein ganz besonderes Erlebnis. So etwas kann man nicht jeden Tag sehen!“

Am Morgen bleiben wir etwas länger liegen und beginnen mit der Arbeit erst um 10 Uhr. Auf dem Tisch vor dem Haus habe ich ein grosses Papier befestigt, mitten drauf steht auf einem Brettchen befestigt ein Nagel. Wir wollen während des ganzen Tages immer wieder die Spitze seines Schattens aufzeichnen. Ich markiere nun den ersten Punkt und schreibe die Uhrzeit dazu. Dann setzen wir uns um einen andern Tisch, auf dem ich die grosse Weltkarte ausgebreitet habe. Jeder Schüler und jede Schülerin hatte die Aufgabe, ein Buch mitzubringen, das eine Geschichte

²⁷⁸ Das Lehrerseminar besitzt ein Celestron C8 Spiegelteleskop (20 cm Öffnung, Schmidt-Cassegrain)

²⁷⁹ Hans-Ulrich Keller: Das Himmelsjahr 1999; Kosmos-Verlag, S.146

aus einem fernen Land erzählt. Jeder stellt nun sein Buch kurz vor: wovon es handelt, in welchem Land die Handlung spielt und warum er oder sie gerade dieses Buch mitgebracht hat. Auf diese Weise entsteht ein lebendiges Bild der Weltkarte.



Die Schüler und
Schülerinnen stellen
ihre Bücher vor.
10.Klasse,
Prés d'Orvin 98

Ich habe von Tanja Blixen das Buch „Afrika, dunkel lockende Welt“ mitgebracht, ein Buch das vor einigen Jahren durch die Verfilmung mit Meryl Streep und Robert Redford unter dem Titel „Out of Africa“ bekannt wurde²⁸⁰. Das Buch ist in unserem Zusammenhang interessant, weil es von Kenia handelt, einem Land, das genau auf dem Äquator liegt - der Linie, die die Erdkarte in eine obere (nördliche) und eine untere (südliche) Hälfte trennt. Es ist für mich immer wieder erstaunlich, wie tief unten in Afrika der Äquator liegt. Wir schauen dann, wo der Äquator in Amerika liegt: Im Osten läuft er durch den nördlichsten Teil von Brasilien, und an der Westküste ist ein Land nach ihm benannt: Ecuador.

Ich lese nun den Schülern und Schülerinnen eine Textstelle des bekannten Schweizer Autors Peter Bichsel vor²⁸¹: *„Ein Mann, der weiter nichts zu tun hatte, ... verbrachte seine Zeit damit, dass er sich alles, was er wusste, noch einmal überlegte. ... Die Erde ist rund, das wusste er. Seit man das weiss, ist sie eine Kugel, und wenn man immer geradeaus geht, kommt man wieder zurück an den Ort, von dem man ausgegangen ist. Nur sieht man nicht, dass sie rund ist, und deshalb wollten die Leute das lange nicht glauben, denn wenn man sie anschaut, ist sie gerade, oder sie geht hinauf oder hinunter, sie ist mit Bäumen bepflanzt und mit Häusern bebaut, und nirgends biegt sie sich zu einer Kugel; dort, wo sie es tun könnte, auf dem Meer, dort hört das Meer einfach auf, endet in einem Strich, und man sieht nicht, wie sich das Meer und wie sich die Erde biegt. Es sieht so aus, als würde die Sonne am Morgen aus dem Meer steigen und abends zurücksinken ins Meer.“*

Doch wir wissen, dass es nicht so ist, denn die Sonne bleibt an ihrem Ort, und nur die Erde dreht sich, die runde Erde, jeden Tag einmal. Das wissen wir alle, und der Mann wusste das auch. Er wusste, wenn man immer geradeaus geht, kommt man nach Tagen, Wochen, Monaten und Jahren an denselben Ort zurück; wenn er jetzt

²⁸⁰ „Ich hatte eine Farm in Afrika am Fusse der Ngongberge.“ Schon im erste Abschnitt des Buches spürt man, wie sehr Tanja Blixen Afrika und seine Einwohner liebte, wie intensiv sie die 17 Jahre in Afrika bis zum Scheitern ihrer Farm erlebte.

²⁸¹ Peter Bichsel: Die Erde ist rund; aus: P. Bichsel: Kindergeschichten; Luchterhand 1969; auch als Taschenbuch erhältlich.

von seinem Tisch aufstände und wegginge, käme er, später, von der andern Seite wieder zu seinem Tisch zurück.

Das ist so, und man weiss es. »Ich weiss«, sagte der Mann, »wenn ich immer geradeaus gehe, komme ich an diesen Tisch zurück.«

»Das weiss ich«, sagte er, »aber das glaube ich nicht, und deshalb muss ich es ausprobieren.«

»Ich werde geradeaus gehen«, rief der Mann, der weiter nichts zu tun hatte, denn wer weiter nichts zu tun hat, kann geradesogut geradeaus gehen.

Nun sind aber die einfachsten Dinge die schwersten. Vielleicht wusste das der Mann, aber er liess sich nichts anmerken und kaufte sich einen Globus. Darauf zog er einen Strich von hier aus rund herum und zurück nach hier.“

Natürlich wissen auch die Schüler und Schülerinnen alle, dass die Erde rund ist. Aber warum wissen wir das? Dominik²⁸²: „Man sieht es auf Satellitenaufnahmen.“ Lehrer: „Das ist richtig. Aber dass die Erde rund ist, wussten schon die Griechen, und die hatten noch keine Satellitenaufnahmen“ Stefan: „Man kann rund herum reisen. Kolumbus hat das getan.“ Lehrer: „Es war nicht Kolumbus, der hat Amerika entdeckt.“ Ich zeige die Reise von Kolumbus auf der Weltkarte. „Der erste, der mit dem Schiff um die Welt herumgesegelt ist, war Magellan, von seiner Reise werde ich euch noch erzählen. Aber Magellan musste ja schon daran glauben, dass die Erde rund ist, sonst hätte er seine Reise nicht unternommen.“ Deborah: „Wenn sie eine Scheibe wäre, würde man am Rand herunterfallen.“ Nathalie: „In der Wüste kann man nicht unendlich weit sehen.“ Lehrer: „Noch besser sieht man es beim Meer: Wenn ein Segelschiff von der Küste wegfährt, verschwindet zuerst der Rumpf, dann auch das Segel und zuletzt noch die Mastspitze. Wenn das Meer flach wäre, würde das Schiff einfach immer kleiner werden.“ Das leuchtet den Schülern und Schülerinnen ein. Genügt das als Beweis? Wagenschein schreibt: „Das macht noch lange keine Kugel. Nur Wölbung ist gewiss da.“²⁸³ Ich erwähnte deshalb noch einen weiteren Beweis für die Kugel: Die Griechen wussten, dass bei einer Wanderung nach Norden einige Sternbilder, die man von Griechenland aus am Südhorizont sieht, nicht mehr sichtbar sind. Wäre die Erde eine Scheibe, dann müsste man überall die gleichen Sternbilder sehen. Man könnte hier auch die Änderung der Höhe des Polarsterns anfügen: In der Schweiz sehen wir den Polarstern unter einem Winkel von 47 Grad²⁸⁴. Je weiter wir nach Norden reisen desto höher steigt der Polarstern, in Marburg z.B. sind es schon fast 51 Grad.²⁸⁵ Wagenschein führt die Mondfinsternis als Beweis an²⁸⁶. Tatsächlich spielte sie bei Aristoteles eine wichtige Rolle, aber für die Schüler liegt sie fern, nur wenige haben sie schon gesehen. Im Unterricht mit den Seminaristen und Seminaristinnen habe ich Photos gezeigt. „Aber immer noch nicht beweist das, dass wir auf einer Kugel wohnen; es könnte auch eine Kreisscheibe sein. Auch sie macht einen runden Schatten.“ Dass die Erde eine Kugel ist, wird ganz deutlich, „wenn der Mond gerade im Osten aufgeht, während drüben, gegenüber, die Sonne versinkt. Wäre die Erde ein Diskus, so

²⁸² Die Zitate stammen aus dem Unterricht mit der 5.-9.Klasse. Die hier wiedergegebene Sequenz wurde veröffentlicht in „Neue Schulpraxis, Dezember 98“

²⁸³ Martin Wagenschein: Die Erfahrung des Erdballs; S.312

²⁸⁴ Man spricht von der „geographischen Breite“, aber was ist hier eigentlich breit? Es wäre doch viel einleuchtender zu sagen „Bern hat eine Polarsternhöhe von 47 Grad.“

²⁸⁵ Martin Wagenschein: „Entscheidend ist nicht das Aufsteigen überhaupt, sondern das gleichmässige Steigen im Mass unseres Schreitens. Der Turmhahn erhebt sich bei jedem Schritt um ein grösseres Stückchen, anfangs wenig, später mehr. Der Polarstern aber steigt bei jeder Tagesreise um dasselbe Stück“. Die Erfahrung des Erdballs; S.29

²⁸⁶ vgl.: Martin Wagenschein: Die Erde unter den Sternen; S. 9

dürfte in dieser schrägen Bestrahlung ihr Schatten nicht rund, er müsste ein längliches, lattenförmiges Gebilde sein. Aber er ist immer kreisrund.“²⁸⁷

Die erwähnten Beweise für die Erdkrümmung können im Unterricht nicht direkt durchgeführt werden. Man kann weder eine längere Nord-Süd-Reise unternehmen noch hat man ein Meer vor sich, und auch die Mondfinsternis ist selten zu sehen. Wagenschein schlägt deshalb vor, die Mondfinsternis als Film zu zeigen.²⁸⁸

Da die Sonne scheint, kann ich den Schülern noch folgenden Versuch zeigen: In ein flaches Stück Styropor stecke ich in einigen Zentimetern Abstand zwei Zahnstocher senkrecht hinein. Dasselbe machte ich auch mit einer grossen Styroporkugel. Wenn ich die Styroporplatte so richte, dass der erste Zahnstocher keinen Schatten wirft, dann hat auch der zweite keinen Schatten. Bei der Kugel dagegen sieht man deutlich, wie der zweite Zahnstocher einen Schatten wirft, weil er eben in eine andere Richtung weist. Und man erkennt auch: Je grösser die Kugel ist, desto kürzer wird der Schatten, wenn die Zahnstocher gleich weit voneinander entfernt sind. Ich erkläre den Schülern und Schülerinnen, wie Eratosthenes mit dieser Überlegung im Jahre 324 v.Chr. den Erdradius bestimmen konnte.²⁸⁹

Wir machen dann eine Pause, und danach erzähle ich den Schülern und Schülerinnen ausführlich von Magellans Reise²⁹⁰. Spannend: Wenn Magellan den Durchgang vom Atlantik zum Pazifik endlich findet, liegt nun ein fast unendlicher Ozean vor ihm. Drei Jahre braucht Magellan bzw. del Cano, der nach Magellans Tod auf den Philippinen die Weltumrundung zu Ende führte.²⁹¹ Die Schüler und Schülerinnen hören fasziniert zu. Simon²⁹² hat die Reise in eigenen Worten ausgezeichnet zusammengefasst:

MAGELLANS GEWALTIGE REISE

Magellans grosse Reise begann am äussersten Zipfel von Spanien und sollte nach Indien zu den „Gewürzinseln“ führen. Wenn er die normale Route um Afrika genommen hätte, dann wäre das gar nichts Besonderes gewesen. Doch er war schon damals fest überzeugt, dass die Erde eine Kugel sei und dass man also auch in der anderen Richtung dorthin komme. Dieses Abenteuer begann im Jahre 1519. Fünf Schiffe und 265 Männer konnte er zu dieser gefährlichen Reise ermuntern. Es brauchte riesige Mengen Nahrung für diese Fahrt ins Ungewisse, und er durfte ja nichts vergessen; nur eine kleine Fehlüberlegung hätte unter Umständen den Tod vieler Männer bedeutet.

Endlich ging es los! Die ausgewählte Route führte vorerst durch schon erkundetes Gewässer. Nämlich Afrika entlang, und dann quer über den Atlantik nach Amerika. Jetzt sind schon einige Monate vergangen, und sie segeln an der südamerikanischen Küste südwärts auf der Suche nach einer Landlücke, wo sie auf die

²⁸⁷ Martin Wagenschein: Die Erfahrung des Erdballs; S.30-31

²⁸⁸ Martin Wagenschein: Die Erfahrung des Erdballs; S.314

²⁸⁹ vgl. Martin Wagenschein: Mathematik aus der Erde; S.298-299

²⁹⁰ Literatur: Stefan Zweig: Magellan. Ein spannender, historisch sorgfältig recherchierter Roman. Fischer-Taschenbuch, 1983

Für jüngere Schüler und Schülerinnen: Richard Humble: Die Reise des Magellan. Aus der Reihe: Die grossen Entdecker, Tessloff, 1991.

²⁹¹ Könnte man am Äquator um die Erde herumlaufen, wie Peter Bichsels Mann plante, so hätte man auch etwa drei Jahre zu laufen! Phileas Fogg in Jule Vernes berühmtem Roman von 1874 braucht 80 Tage, um rund um die Erde zu fahren. B.Piccard umrundete 1999 in seinem Ballon die Erde in 21 Tagen.

²⁹² Simon Forster, 9.Klasse, Golaten (1997)

andere Seite des Kontinents gelangen würden. Doch jetzt bekamen sie ein Problem: der Winter zwang sie zu einer sechsmonatigen Pause, die sie in einer kargen Bucht verbracht haben. Drei Männer wollten in dieser Zeit Magellan überumpeln und die Rückreise antreten, doch er merkte das noch früh genug und bestrafte sie.

Als die Reise wieder beginnen konnte, fanden sie nach langer Suche den Kanal und gelangten in den Pazifik (Stiller Ozean). Später nannte man diese Stelle „Magellanstrasse“. Jetzt folgte der härteste Abschnitt: die Männer sahen Tag für Tag nur Wasser - der Vorrat wurde immer kleiner, das Essen einseitiger. Viele Matrosen wurden in dieser Zeit krank und starben. Doch sie schafften es trotzdem! Eines Tages stiessen sie auf eine der philippinischen Inseln, wo sie freundlich begrüsst worden sind. In der Zeit wo sie dort waren, konnte Magellan viele gute Tauschgeschäfte mit den Einheimischen abwickeln. Doch das ging nicht immer so. Auf einer anderen Insel bekamen sie Streit, und es kam zum Krieg. Der verlief nicht so, wie es sich Magellan gewünscht hat: Ein Teil der Mannschaft konnte mit zwei Schiffen die Flucht antreten, doch Magellan kam im Kampf ums Leben.

Die Geflüchteten machten sich dann auf den Weg zu den „Gewürzinseln“, wo sie die Schiffe mit sehr kostbaren Gewürzen beladen haben. Allerdings bemerkten sie an einem Schiff einen schweren Schaden, der nicht schnell behoben werden konnte. Also machte sich vorerst nur ein Schiff auf den Heimweg und kam nach wiederum langer Fahrt um Afrika herum in Spanien an. Die andere Schiffsbesatzung wollte später diesen Rückweg nehmen, den sie gekommen waren. Das Schiff wurde nie mehr gesehen.

Die 18 Überlebenden hatten für die Reise drei Jahre gebraucht (1519 - 1522).

Nach dem Essen haben die Schüler und Schülerinnen wieder eine Stunde Zeit für Hefteinträge, insbesondere für die Sequenz vom Vormittag. Den Textausschnitt von Peter Bichsel habe ich als Kopie vorbereitet.

Um 15 Uhr treffen wir uns draussen. Der Mond, fast Halbmond, steht am Himmel. Wie entstehen die Phasen des Mondes? Weit verbreitet ist die Meinung, es sei der Schatten der Erde. Jetzt sieht man sehr schön, dass das nicht sein kann, denn beide Gestirne stehen am Himmel, keine Erde, die dazwischen ist und einen Schatten werfen könnte. Wir sehen, dass die beleuchtete Seite des Mondes von der Sonne beschienen ist, und mit einer Styroporkugel, die wir ins Sonnenlicht halten und um uns herum drehen - jeder muss das machen! - sieht man, wie die Phasen entstehen. Erst nachdem jeder das selber gesehen hat, zeige ich es auch noch mit Globus und Holzkugel als Mond - ich habe den Mond im richtigen Grössenverhältnis²⁹³ gewählt, aber den Abstand von der Erde kann man kaum im richtigen Massstab zeigen, zu weit müsste der Mond von der Erde weg sein. Und erst wenn man die grosse Entfernung des Mondes vor sich sieht, begreift man, dass eine Finsternis so selten eintritt. Um zu prüfen, ob wir die Mondphasen verstanden haben, besprechen wir noch einige Aufgaben, zum Beispiel: Wie sieht ein Astronaut vom Mond aus die Erde im Laufe eines Tages? und im Laufe eines Monats? Mit dem Fernrohr betrachten wir dann den Mond mit seinen Kratern und Mare-Gebieten. Nach dem Nachtessen, in der Dämmerung, wird er noch viel schöner zu

²⁹³ Der Durchmesser des Mondes beträgt ca ein Viertel des Erddurchmessers. Man staunt, wenn man diese Kugel sieht: Man hat sie sich grösser vorgestellt. Wenn man dann aber ausrechnet, dass das Mondvolumen 64 mal kleiner ist als das Erdvolumen, dann scheint die Mondkugel sehr gross.

sehen sein. Inzwischen ist auch die Schattenlinie, die wir am Morgen angefangen hatten, schön gediehen; immer wieder haben die Schüler und Schülerinnen im Laufe des Tages die Schattenspitze und die Uhrzeit notiert. Wir werden die Schattenlinie am nächsten Morgen gemeinsam auswerten.²⁹⁴

Donnerstag:

Der Morgen beginnt wieder mit einer Stunde individueller Arbeit. Es geht darum, diejenigen Teile, die noch nicht fertig sind, abzuschliessen. Um 10 Uhr sitzen wir dann zusammen um den Tisch mit der Schattenlinie.



Auswerten der Schattenlinie
10.Klasse, Prés d'Orvin 98

Lehrer²⁹⁵: „Wann ist Mittag?“ Rejhan: „Um 12 Uhr.“ Lehrer: „Können wir das aus unserer Linie sehen?“ Rahel: „Ja es ist der kürzeste Schatten.“ Ich bitte Rahel, mit dem Geo-Dreieck den Schatten zu messen. Es erweist sich als schwierig, irgendwann zwischen 13 und 14 Uhr scheint der Schatten am kürzesten. Marc hilft uns weiter: „Mittag ist doch die Mitte des Tages.“ Wir suchen uns also zwei gleich lange Schatten, einen am Morgen und einen am Nachmittag. Mit dem Zirkel finden wir dann die Mitte dazwischen: 13.35. Wie können wir das erklären? Bettina schlägt vor, dass die Sommerzeit eine Stunde der Differenz erklärt. Manuela ist nicht einverstanden: „Die Sonne merkt doch nicht, dass wir die Uhr verstellen, dann kann das doch beim Schatten nichts ändern.“ Bettina: „Doch, wir hätten ja dann andere Zeiten aufgeschrieben, statt 13.00 Uhr würde auf dem Papier 12.00 stehen, wenn wir nicht künstlich die Zeit vorgestellt hätten.“ Manuela: „Ah, ja.“

Eine Stunde ist also erklärt, es bleiben noch 35 Minuten zu erklären. Marcs Idee hilft weiter: Die Sonne erreicht nicht überall gleichzeitig den höchsten Punkt. Kathrin: „Wir richten uns nach Greenwich.“ Lehrer: „Wo liegt Greenwich?“ Kathrin: „In England.“ Lehrer: „Richtig, es ist die Sternwarte von London. Eine Uhr, die sich auf Greenwich bezieht, zeigt GMT = Greenwich Mean Time an. Wir richten uns aber nicht nach Greenwich, wir haben MEZ = Mittel-Europäische Zeit.“

Dass man sich auf Zeitzonen geeinigt hat und nicht jede grössere Ortschaft seine eigene Zeit hat, ist im Zeitalter des raschen Verkehrs sinnvoll. Zürich z.B. müsste gegenüber Bern seine Uhr 4 Minuten vorstellen. Wie sollten da noch Fahrpläne erstellt und Zeitpunkte abgemacht werden, wenn jeder seine eigene Zeit hat?

²⁹⁴ In Golaten haben die Schüler und Schülerinnen als Vorbereitung im Winter eine Schattenlinie eines 1m hohen Stabes auf dem Pausenplatz aufgemalt. Während des Unterrichts im Frühjahr haben wir dann gemeinsam eine zweite Linie aufgezeichnet und dabei den deutlichen Unterschied in der Krümmung sehen können, aber festgestellt, dass der kürzeste Schatten in dieselbe Richtung zeigt!

²⁹⁵ Diese Sequenz stammt aus dem Bericht mit den Seminaristen und Seminaristinnen in Prés d'Orvin 1998 (unveröffentlicht)

Wir nehmen den Atlas zur Hand. Ich erkläre, dass man Zonen so einteilt, dass sie eine Stunde Unterschied aufweisen. Wir überlegen uns: 24 Stunden entsprechen 360 Grad, also muss eine Zone, die eine Stunde umfassen soll, 15 Grad breit sein. Prés d'Orvin liegt auf 7,5 Grad östlicher Länge. Wir sind in der Zone eingeteilt, die nicht bei 0 Grad (Greenwich) ihre Mitte hat, sondern bei 15 Grad. Also für Prag würde die europäische Uhrzeit etwa stimmen. Bei uns, 7,5 Grad westlich von Prag erreicht die Sonne ihren höchsten Stand eine halbe Stunde später. Je weiter wir nach Westen gehen, desto weniger stimmt die Uhr mit dem Sonnenstand überein. In Sevilla (Spanien, 6 Grad westliche Länge), das sich auch nach Mitteleuropäischer Zeit richtet, erreicht die Sonne erst um 14.24 (12 Uhr + 1 Stunde Sommerzeit + 84 Minuten Aufgrund der Differenz von 6 Grad West zu 15 Grad Ost) ihren höchsten Stand.

Damit ist zur einen Stunde Sommerzeit noch eine halbe Stunde aufgrund der Zeitzonen dazugekommen, und unsere Schattenmessung stimmt nun recht gut. Sind die restlichen fünf Minuten mit der Messungenauigkeit zu erklären? Ich erzähle den Schülern und Schülerinnen, dass die Sonne nicht ganz regelmässig läuft - sofort heftige Diskussion: Warum? Und: Die Sonne läuft doch gar nicht! Ich beruhige die Schüler und Schülerinnen „Wenn wir die Sonne regelmässig beobachten, merken wir, dass sie manchmal etwas länger als 24 Stunden braucht, bis sie wieder den höchsten Stand erreicht, manchmal etwas weniger. Ob sich die Sonne oder die Erde bewegt, ist gar nicht wichtig. Die Unregelmässigkeit wird Zeitgleichung genannt und kann in der Formelsammlung nachgeschaut werden. Wir schauen nach, für Mitte August kann man aus der Kurve ablesen, dass die Sonne eine Verspätung von 4 Minuten aufweist, sie sollte also um 13.34 den höchsten Stand erreichen, unsere Messung ist also erstaunlich präzise. An der Sonne lesen wir also unsere Zeit ab, und sie zeigt uns auch die Himmelsrichtungen: Dort, wo der kürzeste Schatten hinzeigt, haben wir in der Nacht den Polarstern gefunden. Ich erzähle den Schülern noch, dass sich Sonne, Mond und Sterne nicht gleich schnell bewegen: Die Sterne sind ca. 4 Minuten schneller als die Sonne. Die Astronomen, die sich mehr an den Sternen als an der Sonne orientieren, arbeiten daher mit Sternzeit. Der Mond dagegen läuft viel langsamer, er verliert pro Tag im Schnitt rund 50 Minuten. Wenn wir auf einer Uhr drei Zeiger anbringen würden, hätten wir eine Himmelsuhr²⁹⁶: Der grosse goldene Zeiger zeigt immer auf die Sonne und läuft einmal in 24 Stunden rund herum. Sein Umlauf zeigt uns an, dass ein Tag vergangen ist. Der Mondzeiger hat jeden Tag 50 Minuten Verspätung. Wenn ihn der Sonnenzeiger überrundet, ist ein Monat vergangen. Der Sternzeiger läuft ein bisschen schneller als der Sonnenzeiger. Wenn er den Sonnenzeiger überrundet, ist ein Jahr vergangen.

Donnerstag Nachmittag:

Nach der individuellen Arbeit, für die wiederum eine Stunde vorgesehen war, treffen wir uns um 15 Uhr beim Beobachtungsplatz. Ich habe ein Modell mitgebracht: eine grosse Glaskugel, in deren Mitte ein kleiner Globus zu sehen ist²⁹⁷. Der Glasstab, an dem der Globus befestigt ist, ist gleichzeitig die Erdachse. Lehrer: „Die Griechen dachten, dass die Sterne an einer Glaskugel, die sich um die Erde dreht, befestigt sind. Wir wollen nun versuchen, die Sternbilder, die wir kennen, auf der Glaskugel aufzumalen.“ Schüler: „Der Polarstern steht über dem Nordpol“ Wir richten die Achse so, dass sie auf den Polarstern zeigt, einige Schüler erinnern sich

²⁹⁶ vgl. Hans Christoph Berg: Suchlinien, S.78 ff

²⁹⁷ Durchmesser der Glaskugel (Rundkolben aus der Chemie): 17 cm, Durchmesser des Globus: 4 cm (von einem Bleistiftspitzer)

noch, über welcher Tanne er stand. Als nächstes wollen wir den grossen Bären zeichnen. Die Aufgabe ist nicht einfach, denn derjenige Schüler, der das Sternbild mit dem wasserfesten Stift auf die Glaskugel zeichnet, hat das Sternbild ja im Rücken. Ein zweiter Schüler muss also von unten durch die Glaskugel blicken und dem andern die Anweisung geben, wie das Sternbild gezeichnet werden soll. Dann zeichnen wir Cassiopeja, usw. Die Arbeit läuft sehr gut, es wird lebhaft diskutiert, gelegentlich muss auch ein Sternbild weggewischt und neu gezeichnet werden. Nach einer halben Stunde sind die wichtigsten Sternbilder (Cassiopeja, der grosse Bär, der Adler, Schwan, ..) eingezeichnet. Ich ergänze den Orion, den wir nicht gesehen haben, den einige Schüler und Schülerinnen aber als herrliches Wintersternbild kennen: Er liegt gerade dem Adler gegenüber. Wenn also der Adler am Morgen untergeht, dann steigt der Orion im Osten über den Horizont.



Die Sterne sind auf der Glaskugel aufgezeichnet, und ich ergänze nun noch den Himmelsäquator, dh. die Projektion des Äquators vom Globus auf die Glaskugel, und die Ekliptik, dh. die Ebene, in der die Sternbilder des Tierkreises liegen. Ich zeichne auch noch die Sonne, die zur Zeit im Löwen steht (etwas rechts von Regulus), und nun können wir die Glaskugel drehen und im Modell sehen, wie die Sonne aufgeht und ihren Bogen am Himmel macht. Wenn die Sonne am Abend untergeht, dann steht der Adler schon im Südosten und wird dann in der Dämmerung langsam sichtbar. Und wenn der Adler kurz vor Mitternacht bei uns im Süden zu sehen ist, dann steht er, weil er auf dem Himmelsäquator liegt, senkrecht über Kenja, und in New York ist er zu dieser Zeit im Osten aufgegangen, allerdings noch nicht sichtbar, weil die Sonne erst am Untergehen ist. Damit haben wir den Bezug zwischen Erde („die Erde ist rund“ und „die Bücher-Weltkarte“) und der Himmelskugel (Beobachtung der Sternbilder, Sternkarte) geschaffen.

Am Abend sehen wir uns noch einmal den Nachthimmel an. Wir suchen die Sternbilder, üben den Gebrauch der Sternkarte, und zwei Schülerinnen haben noch je eine griechische Sage zum Erzählen vorbereitet. Eine Stunde sind wir draussen, geniessen den herrlichen Blick und freuen uns, dass wir nun mit den Sternbildern etwas vertraut sind. Und wir prüfen auch: Steht der Polarstern in der Richtung, die uns der kürzeste Schatten gewiesen hat?

Freitag:

Nach der üblichen Stunde individueller Arbeit, in der es darum ging, das in dieser Woche entstandene Heft abzuschliessen, treffen wir uns im verfinsterten Zimmer. Mit einem Diavortrag gebe ich den Schülern und Schülerinnen einen Einblick in

die Geschichte der Astronomie. Mit 60 Dias illustriere ich, wie Kopernikus das von uns in dieser Woche erarbeitete geozentrische Weltbild umstürzte, wie Galilei, der als erster ein Fernrohr zur Himmelsbeobachtung verwendete, mit seinen Beobachtungen das heliozentrische Weltbild stützte, ich zeige Bilder der Messier-Objekte und beschreibe, dass sich diese nebligen Flecke als unterschiedliche Objekte erwiesen: Gasnebel, offene Sternhaufen, Kugelsternhaufen, explodierende Sterne und ferne Galaxien. Und ich erzähle auch, wie man sich heute die Entstehung des Weltalls vorstellt: die Theorie des Urknalls, von Hubble 1929 aus der Beobachtung von Galaxien entwickelt und durch viele Beobachtungen, z.B. die 1965 entdeckte Hintergrundstrahlung, bestätigt. Als Abschluss zeige ich Bilder des Hubble-Space-Teleskops. Die Schüler und Schülerinnen hören gebannt zu, stellen Fragen, und so vergehen die zwei Stunden bis zum Mittag im Flug.

Es ist Zeit zusammenzupacken. Bevor wir uns auf den Heimweg machen, werfen wir einen letzten Blick auf die wunderbare Landschaft des Juras, von wo aus wir den Blick auf den Himmel gerichtet haben. Aus vielen Rückmeldungen kann ich schliessen, dass die Himmelskundewoche den Schülern und Schülerinnen gefallen hat. Und ich hoffe natürlich, dass sie nun den Nachthimmel bewusster wahrnehmen, dass sie bei Gelegenheit wieder versuchen werden, die gelernten Sternbilder zu erkennen und vielleicht im Winter, mit Hilfe ihrer Sternkarte, auch neue zu entdecken.

4.2.3. Die realen Inszenierungen in Kurzfassungen und im Überblick

4.2.3.1. Daniel Ahrens und Ueli Aeschlimann mit einer 7.Klasse an der Ecole d'Humanité, Mai 1990

Samstagmorgen: Wir stehen draussen, die Sonne scheint. „Wie spät ist es?“ fragt Daniel Ahrens. „Halb zwölf“ antwortet Sebi. Daniel Ahrens schaut auf die Sonne und sagt dann: „Das kann nicht sein“. Was hat die Sonne mit der Zeit zu tun? Wie läuft die Sonne über den Himmel? Ein Ast wird in die Wiese gerammt. Können wir an seinem Schatten die Zeit ablesen? Tamer vermutet, dass der Schatten um zwölf Uhr am kürzesten ist. Im Laufe des Sonntags soll der Verlauf des Schattens aufgezeichnet werden, um das zu prüfen.

Sonntag: Ein sonniger Tag ermöglicht eine gute Aufzeichnung des Schattens, allerdings hatten wir gehofft, dass sich mehr als nur ein Schüler an der Beobachtung beteiligen würde.

Montag: Die Schattenlinie zeigt: Um zwanzig nach eins ist der Schatten am kürzesten. Nach einiger Diskussion wird eine Stunde der Sommerzeit zugeschrieben. Aber was ist mit den restlichen zwanzig Minuten? Ein Messfehler? Nein, mehr als 5 Minuten sind nicht realistisch. Eine neue Idee taucht auf: Man muss zwei gleich lange Schatten suchen - einen am Vormittag und einen am Nachmittag - und dann die Mitte konstruieren. Die Überraschung: Wir kommen wieder auf zwanzig nach eins! Ist Mittag nicht um zwölf Uhr?

Dienstagmorgen: Die Schattenlinie ist eine Sonnenuhr, am Mittag zeigt der Schatten genau nach Norden. Warum die Sonnenuhr nicht mit der Armbanduhr übereinstimmt, bleibt aber immer noch unklar. Daniel Ahrens legt nun eine 24-Stunden-Uhr in die Mitte der Windrose. Ihr kleiner Zeiger braucht 24 Stunden für eine Umdrehung, soviel wie auch die Sonne braucht. Kaspar: „Die kann man ja als Kompass verwenden.“ Daniel Ahrens lüftet nun auch das Geheimnis der zwanzig Minuten, indem er den Unterschied von Ortszeit und Mitteleuropäischer Zeit erklärt.

Dienstagabend: Um 22 Uhr treffen wir uns zur Sternbeobachtung. Jeder sucht sich seinen Lieblingsstern aus, bevor wir zu einer kleinen Wanderung aufbrechen. Daniel Ahrens zeigt die verschiedenen Sternbilder und erzählt die griechischen Sagen. Nach zwei Stunden sind wir wieder am Ausgangspunkt. Die Schüler und Schülerinnen suchen nochmals ihren Lieblingsstern und stellen dabei fest, dass sich die Sterne bewegt haben. Bastiaan hatte sich einen Stern nahe am Westhorizont ausgesucht: „Mein Stern ist verschwunden!“.

Mittwochmorgen: Daniel Ahrens hat auf einem grossen Blatt Papier eine Windrose gezeichnet. Wo stand die Sonne gestern abend um 22 Uhr? Die Schüler und Schülerinnen sind in der Lage, diese Frage richtig zu beantworten und die Sonne auf dem Papier einzuzichnen. Nun werden auch die Sternbilder eingezeichnet: Die Zwillinge standen im Westen, der Skorpion im Osten. Nach und nach füllt sich das Blatt. Wo stand die Sonne, als wir gegen Mitternacht zurückkehrten? Sie ist zwei Stunden weitergewandert. Was ist mit den Sternbildern passiert? Die Diskussion führt in dieser Stunde nicht zu einer Klärung.

Donnerstagmorgen: Die Sterne bewegen sich, das hatten wir beobachtet. Aber wie bewegen sie sich? Alle Schüler und Schülerinnen zeichnen die Bewegung ihres Lieblingssterns mit einem Pfeil an die Tafel. Dabei stellt sich heraus: Die Sterne gehen ebenso wie die Sonne im Osten auf und im Westen unter. Wie kann man diese Bewegung auf unserem Papier darstellen? Kaspar: „Man muss zwei Scheiben nehmen, die man gegeneinander drehen kann.“ Eine feststehende Scheibe mit dem Horizont von Goldern, eine zweite Scheibe für die Sternbilder, die sich in 24 Stunden über die erste hinwegdreht. Daniel Ahrens bittet die Schüler und

Schülerinnen, diese zwei Scheiben am Nachmittag zu basteln. Am Abend wollen wir uns dann zu einer zweiten Sternbeobachtung treffen.

Donnerstagabend: Beim Einbruch der Dämmerung treffen wir uns mit den selber gebastelten Horizont-Sternkarten. „Wo werden bald die Zwillinge erscheinen?“ fragt Daniel Ahrens. Geschäftiges Drehen an den Scheiben, bald werden wir sehen, ob unsere Einstellungen stimmen. Die Behauptung, alles drehe sich um den Polarstern, war im Unterricht schon gefallen. Wir wollen nun prüfen, ob das stimmt. Daniel Ahrens erklärt, wie man den Polarstern findet. „Wie müsste sich der grosse Wagen nun bewegen, wenn die Behauptung stimmt?“ Seine Position und die des Polarsterns werden angepeilt. Ein kleiner Spaziergang überbrückt die Wartezeit. Wieder erzählt Daniel Ahrens Sternsagen, und wir beobachten, wie der helle Jupiter am Westhorizont untergeht. Dass sich die Sichel des Mondes nicht mehr beim Kopf des Löwen befindet wie vor zwei Tagen und dass sie auch nicht mehr so schlank ist, fällt keinem auf, Daniel Ahrens muss darauf aufmerksam machen. Bei unserer Rückkehr stellen wir fest, dass sich der Polarstern tatsächlich nicht von der Stelle bewegt hat, während der grosse Bär ein kleines Stück der prophezeiten Drehung um den Polarstern zurückgelegt hat.

Freitagmorgen: Daniel Ahrens hat auf der Innenseite seines Regenschirms die Sternbilder aufgemalt. Hält man die Achse in Richtung Polarstern, so kann man sehr schön die beobachtete Drehung der Sternbilder erkennen. Kaspar erkennt: „Der Polarstern ist also auch am Tag fest an der Stelle, wo wir ihn nachts gesehen haben.“ Dann verteilt Daniel Ahrens allen Schülern und Schülerinnen eine drehbare Kosmos-Sternkarte. Er erklärt die Unterschiede zur selber gebastelten Karte und erklärt, wie man die Sternkarte einstellen muss. Sonne und Mond sind auf dieser Karte nicht eingezeichnet, weil sie sich im Lauf des Jahres durch die Sternbilder des Tierkreises bewegen; damit wird auch der Bezug zum Horoskop klar. Fleissig wird an den Karten gedreht, und Steffi erkennt jetzt auch, warum sie das bekannte Sternbild Orion am Abend nicht finden konnte.

Freitagnachmittag: Das langsame Vorangehen hat sich gelohnt, denn die Schüler und Schülerinnen haben die Bewegungen von Sonne und Sternen am Himmel begriffen und den Aufbau der Sternkarte verstanden. In dieser letzten Stunde erzählt Daniel Ahrens nun von den Anfängen der Astronomie in der Steinzeit bis zu den neusten Erkenntnissen - schwarzen Löchern und Supernova. Gespannt hören die Schüler und Schülerinnen zu, „mit leuchtenden Augen, aber eben Augen, die auch beim Blick in den nächtlichen Himmel und beim Erzählen der Sagen geleuchtet hatten.“

Kommentar:

- 1990 war die Komponente Erde (Weltkarte und Globus) im Aufbau des Kurses noch nicht vorgesehen. Der Mond (Veränderung der Phase und Bewegung relativ zu den Sternbildern) wurde beobachtet, aber im Unterricht nicht thematisiert. Auch das Zeichnen der Sternbilder auf die Glaskugel wurde in diesem Kurs nicht gemacht.
- Der Kurs fand bei strahlendem Wetter statt. Damit konnten die Beobachtungen (Schattenlinie und zwei Beobachtungen am Nachthimmel) wie geplant durchgeführt werden. Pro Tag stand eine Unterrichtsstunde zur Verfügung. Zusätzlich kamen die beiden Nachtbeobachtungen und eine zusätzliche Stunde am Freitagnachmittag dazu, so dass der Kurs insgesamt 10 Stunden umfasste.

- In seinem Kommentar²⁹⁸ hebt Gunter Otto die ästhetische Qualität sowohl des Himmelskunde-Unterrichts als auch des Berichts hervor. Er schreibt: „Die notwendig zu fordernde Exaktheit der Beobachtungen wird durch die Atmosphäre, in der der Himmel zum Problem wird, der Blick zu den Sternen geht, gebrochen, und die Konfrontation der Poesie mit der messbaren Welt und der Messdaten mit der Alltagserfahrung schafft jene produktive Irritation, die vor der Verabsolutierung sowohl des scientifischen wie des ästhetischen Hinblicks bewahrt.“

4.2.3.2. Hans Christoph Berg, Ueli Aeschlimann und Astrid Eichenberger in der Lehrer- und Lehrerinnenfortbildung, Langenbruck, August 1995

Wir treffen uns am Mittwoch am späten Nachmittag in Langenbruck im Schweizer Jura, zwischen Basel und dem Mittelland. Der Zeitpunkt scheint ungewöhnlich: Warum beginnt ein Kurs am späten Nachmittag und erst noch mitten in den Ferien? Die Antwort lautet: Wir wollen den Kurs mit der Beobachtungen der Sterne beginnen. Auf dieser Beobachtung soll der Kurs am nächsten Morgen aufbauen. Zudem ist der Mond wichtig: Ein Vollmond, der während der ganzen Nacht hell leuchtet, ist für das Beobachten der Sterne hinderlich. Andererseits wollen wir die Bewegung des Mondes verfolgen, und deshalb legten wir den Kurs so, dass der zunehmende Halbmond in die Mitte des Kurses fällt.

Als erstes gibt Hans Christoph Berg einen Überblick über den geplanten Verlauf des Kurses. Im Zentrum steht das Selber-Schauen und das Nachdenken über elementare Grundlagen der Himmelskunde.

Nach dem Nachtessen machen wir uns dann auf den Weg zu unserem Beobachtungspunkt. Er liegt etwa 2 km vom Hotel entfernt auf einer Anhöhe mit gutem Ausblick. Die Dämmerung hat schon begonnen, als wir dort eintreffen, aber es ist noch hell genug, um sich geographisch zu orientieren. Die Sichel des zunehmenden Mondes steht im Westen, direkt neben Spica, im Süden leuchtet Jupiter. Dann tauchen die ersten Sterne auf: das Sommerdreieck mit Vega, Deneb und Atair hoch über uns, Arktur im Süd-Westen. Mit der Zeit sehen wir dann die ganzen Sternbilder: den grossen Wagen, den Schwan usw. Eine volle Stunde geniessen wir den herrlichen Himmelsanblick und stellen dabei auch schon fest, wie sich der Mond und die Sterne am Himmel weiterbewegen. Danach wandern wir zum Hotel zurück. Vor dem Hotel werfen wir einen letzten Blick auf die Sterne, von hier aus wollen wir nach einigen Stunden Schlaf den Morgenhimmel studieren.

Um 4 Uhr stehen wir wieder auf, etwas verschlafen nach der kurzen Nachtruhe, aber gespannt, wie der Himmel jetzt aussieht. Der grosse Bär ist gegen den Nordhorizont heruntergewandert, dafür steht jetzt Cassiopeja fast senkrecht über uns. Der Schwan fliegt gegen Süd-Westen, während im Osten Capella im Fuhrmann und Aldebaran im Stier aufgegangen sind. Ein ausführliches Studium des Morgenhimmels ist für den nächsten Morgen vorgesehen, und so legen wir uns bald wieder schlafen.

Nach dem Morgenessen versammeln wir uns um einen im Freien aufgestellten Tisch. Auf einem grossen Papier habe ich einen Nagel aufgebaut, und wir wollen im Laufe des Tages immer wieder den Schatten markieren und die Uhrzeit dazuschreiben. Im Kurslokal stellt dann Christoph Berg die Frage: „Wie hat man auf der Erde ein Gradnetz gelegt? Kann man dieses Gradnetz mit dem Himmel in Verbin-

²⁹⁸Gunter Otto: Über Lehre, Kunst und Lehrkunst; In: Berg/Schulze: Lehrkunstwerkstatt II; S.325-340, insbesondere S.338-339

„dung bringen?“ Nach anfänglicher Ratlosigkeit - zu sehr sind uns die Längen- und Breitengrade selbstverständlich geworden - finden wir heraus, dass die Pole eine wichtige Rolle spielen. Den Nordpol können wir mit dem Polarstern finden. Der Aequator dagegen ist eine Linie, die am Himmel nicht so leicht abgelesen werden kann, es ist ja nur bei Tag- und Nachtgleiche so, dass die Sonne senkrecht über dem Aequator steht. Und die Längengrade? 0 Grad liegt bei Greenwich, aber das ist eine willkürlich Festlegung. Die Längengrade können nicht am Himmel abgelesen werden, was für die Schifffahrt lange ein grosses Problem darstellte.²⁹⁹

Am Nachmittag wandern wir auf Breitenhöchi. Unterwegs, am Südfuss eines Hügels stelle ich die Frage, wo denn jetzt der Mond sei. Teilnehmer: „Gestern Abend war er im Westen, also müsste er jetzt etwa im Süden sein. Er ist hinter dem Hügel.“ Einige Teilnehmer und Teilnehmerinnen schliessen sich seiner Meinung an, andere sind unsicher. Grosse Freude dann, als beim Weiterwandern der Mond hinter dem Hügel sichtbar wird. Auf Breitenhöchi zeichnen wir bei herrlichem Sonnenschein den Horizont. Nach einer Stunde wandern wir zurück und treffen uns vor dem Nachtessen nochmals am Tisch mit der Schattenmessung. „Wo ist der kürzeste Schatten?“ „Am Mittag.“ Das ist eine Behauptung, und wir versuchen nun, den kürzesten Schatten in der Zeichnung zu finden. Zu unserer Überraschung finden wir ihn um halb zwei Uhr. Die Messung ist nicht einfach, und ein Teilnehmer schlägt vor, am Vormittag und am Nachmittag zwei gleich lange Schatten zu suchen und dann die Mitte dazwischen zu konstruieren. Wir kommen mit dieser Methode auf 13.37. Warum nicht 12 Uhr? Eine Stunde ist rasch erklärt: Es ist die Sommerzeit. Bald taucht dann auch die Idee auf, dass die Erde in Zeitzonen aufgeteilt ist. Hilft uns das? Ja, wir liegen am Rand einer Zone, und damit ist wieder eine halbe Stunde erklärt. Die Zeitgleichung, die die restlichen Minuten erklären würde, besprechen wir nicht. Mit einer langen Holzlatte markieren wir noch die Richtung des kürzesten Schattens, damit wir in der Nacht prüfen können, ob dieser Schatten nach Norden, dh. zum Polarstern, zeigt.

Nach dem Nachtessen stehen griechische Tänze auf dem Programm. Die Verbindung zur Sternkunde liegt auf der Hand: Griechische Götter und Sternsagen. Danach wenden wir uns wieder dem Himmel zu, ein kurzer Blick nur, denn vor der Morgenbeobachtung wollen wir doch noch etwas Schlaf geniessen. Um 3.30 stehen wir auf und wandern zu unserem Beobachtungspunkt, wo wir einen wunderbaren Blick auf den Morgenhimmel haben. Zu den schon erwähnten Sternbildern des Stiers und des Fuhrmanns kommt in der Morgendämmerung am Osthorizont noch der Orion dazu. Zwei Stunden sind wir unterwegs, und es ist schon hell, als wir zum Hotel zurückkehren und uns nochmals schlafen legen. Das Frühstück ist wegen unserer nächtlichen Beobachtung etwas später angesetzt, und so bleiben bis zum Mittag noch anderthalb Stunden, um die Sternbilder auf der Glaskugel aufzuzeichnen.

Am Nachmittag erstellen wir eine „Landkarte der Sterne“, indem wir die beobachteten Sternbilder in unsere Horizontzeichnungen eintragen: zuerst gemeinsam, auf einem grossen Papier, dann jeder in seine eigene Horizontzeichnung. Diese Horizont-Sternkarte gilt aber nur für 11 Uhr abends. Wie können wir der beobachteten Bewegung der Sterne Rechnung tragen? Die Idee ist schnell gefunden: Wir

²⁹⁹ Der Längengrad kann aus der Stellung von Sonne und Sternen ermittelt werden, wenn man über eine exakt laufende Uhr verfügt. John Harrison war der erste, der eine Uhr bauen konnte, die auch auf Schifffreisen hinreichend genau lief; siehe dazu: Dava Sobel: Längengrad. Heute erfolgt die Positionsbestimmung mit GPS-Satelliten.

zeichnen die Sternbilder auf eine Folie, die sich dann gegenüber dem festen Horizont drehen lässt. Wir finden auch leicht heraus, dass der Drehpunkt nicht in der Mitte der Karte liegt sondern beim Polarstern, auf unserer Karte etwa in der Mitte zwischen Mittelpunkt (Zenit) und dem Horizont im Norden.

Nach dem Nachtessen und den griechischen Tänzen, die uns heute schon leichter fallen, wandern wir wieder zu unserem Beobachtungspunkt. Neben dem Wiedersehen mit den Sternbildern geht es vor allem um die Frage: Wie hat sich der Mond bewegt? Wir sehen, dass er weit hinter Spica zurückgeblieben ist, dass er sich also deutlich langsamer bewegt als die Sterne.

Am Samstagmorgen hat Hans Christoph Berg eine Weltkarte auf den Boden gelegt. Er hat eine grosse Tasche voll Bücher, vor allem Kinderbücher, und er breitet sie nun um die Weltkarte herum aus. Zwei Bände von Sven Hedins „Von Pol zu Pol“ werden bei den beiden Polen hingelegt, „Die Reise des Nils Holgerson“ kommt nach Schweden, „Lederstrumpf“ nach Amerika usw. Die Weltkarte wird in diesen Texten lebendig. Nach einer kurzen Pause liest Hans Christoph Berg seinen Text „Mit Adler und Orion um die Welt“ vor. Wenn wir den Adler im Süden sehen, wer sieht ihn senkrecht über sich? Und wer sieht den Orion über sich? Wer sieht ihn aufgehen? Die Teilnehmer und Teilnehmerinnen erhalten eine Kopie des Textes, um sich in Ruhe nochmals damit auseinandersetzen zu können.

Für den Nachmittag habe ich auf einem grossen Papier die Sterne aufgezeichnet. Wir zeichnen die uns bekannten Sternbilder ein und markieren auch den Ausschnitt des Sternenhimmels, den wir am Abend gesehen haben. Am Morgen haben wir einen andern Ausschnitt gesehen, der Himmel hat sich weitergedreht. Auf einer Sternkarte kann man diese Drehung simulieren. Der Unterschied besteht nur darin, dass die Sterne festgehalten werden und nicht der Horizont. Warum das so gemacht wird, ist eigentlich nicht zu verstehen. Ich erkläre, wie die Sternkarte eingestellt wird. Dann trägt jeder Teilnehmer und jede Teilnehmerin auf einem kopierten Blatt die Sternbilder ein, klebt das Blatt auf einen Karton und befestigt eine Folie mit dem ellipsenförmigen Horizont darauf.

Im zweiten Teil des Nachmittags zeige ich in einer Diaserie mit 50 Bildern den Weg der Astronomie von den Griechen bis zur heutigen Kosmologie.

Griechische Tänze und eine kurze Sternbeobachtung runden den Samstag ab. Für den Sonntagmorgen planen wir, uns auf einem nahegelegenen Aussichtspunkt den Sonnenaufgang anzusehen. Wir versprechen, die Teilnehmer um 4.30 zu wecken. Kurz nach vier Uhr stehen Hans Christoph Berg, Astrid Eichenberger und ich am Fenster: Die Sicht ist nicht besonders gut, sollen wir gehen oder nicht? Der Entscheid fällt uns nicht leicht, aber schlussendlich scheint uns das Wetter zu unsicher, und wir beschliessen, auf den Sonnenaufgang zu verzichten. Wir legen uns deshalb wieder schlafen. Ich höre dann noch ein Auto wegfahren. Offenbar sind einige Teilnehmer und Teilnehmerinnen zuversichtlicher als wir. Beim Morgenessen kommt dann heraus, dass alle Teilnehmer und Teilnehmerinnen beim Sonnenaufgang waren, nur die Kursleiter nicht. Meine Frage vom Mittwoch: „Hier ist der Mond, wo ist die Sonne?“ wandelt Willi Rudin um in „Hier ist die Sonne, wo sind die Kursleiter?“ Nach dem Frühstück fassen wir zusammen, was wir in diesen drei Tagen und Nächten gelernt haben: Das Modell mit der Glaskugel vermittelt den Zusammenhang zwischen der Sternkarte und dem Globus. Ausgehend von der 24-Stunden-Uhr, deren grosser Zeiger immer auf die Sonne zeigt, stellen wir fest, dass eine Himmels-Uhr noch zwei weitere Zeiger haben sollte: einen, der in 23 Stunden und 56 Minuten umläuft und immer auf die Sterne

gerichtet ist, und einen weiteren, der in 24 Stunden und 51 Minuten umläuft und immer auf den Mond zeigt. Diese drei Zeiger vertreten Tag, Jahr und Monat.

Kommentar:

- Dank ausgezeichneten Wetters konnten wir ausgiebig beobachten. Wir hatten mit dem Wetter ausgesprochen Glück, denn als wir uns am Sonntagmittag verabschiedeten, regnete es.
- In diesem Kurs haben wir erstmals die Komponente „Erde“ eingeführt, allerdings nur den Teil mit der Weltkarte und noch nicht den Teil mit der Frage: Warum weiss man, dass die Erde eine Kugel ist?

4.2.3.3. Ueli Aeschlimann mit einer 10.Klasse des Lehrerseminars Bern, Studienwoche in Prés d'Orvin 1996

Montag, 1.Juli: Als wir am Montagnachmittag mit dem Unterricht beginnen, regnet es draussen in Strömen. Ich lese den Text von Peter Bichsel vor. Woher wissen wir, dass die Erde eine Kugel ist? Erwin: „Das kann man auf Satellitenbildern sehen.“ Lehrer: „Das ist richtig, aber man wusste ja schon viel länger, dass die Erde eine Kugel ist.“ Simone: „Galilei hat das bewiesen.“ Lehrer: „Nein, das wusste man schon vorher. Galilei hat bewiesen, dass sie sich dreht und um die Sonne bewegt.“ Simone: „Ah ja, er sagte: und sie bewegt sich doch!“ Christoph: „Man sieht, dass ein Schiff, das ins Meer hinausfährt, langsam im Meer verschwindet.“ Wir besprechen dann, wie Eratosthenes den Umfang der Erde bestimmt hat. Dann erzähle ich den Schülern und Schülerinnen von der abenteuerlichen Fahrt Magellans. Nach mühevoller Suche fand er endlich den Durchgang vom Atlantik zum Pazifik. An dieser Stelle drehe ich den Globus um, auf dem wir Magellans Reise entlang der Küste von Südamerika verfolgt haben: Ein riesiger Ozean taucht auf. Drei Jahre dauert das Abenteuer der Weltumsegelung. „Und endlich ein silberner Streifen, der Guadalquivir, der bei San Lucar de Barrameda ins Meer einmündet. Hier sind sie vor drei Jahren unter Magellans Führung, fünf Schiffe und zweihundertfünfundsechzig Mann, ausgefahren. Und nun steuert ein einziges kleines Schiff heran, wirft Anker, und achtzehn Mann taumeln heraus, fallen ungelenk in die Knie und küssen die harte, die gute, die feste heimische Erde.“³⁰⁰ Fast zwei Stunden haben wir intensiv gearbeitet, höchste Zeit für eine Pause. Anschliessend haben die Schüler und Schülerinnen Zeit, das Besprochene in ihren Heften festzuhalten.

Nach dem Nachtessen treffen wir uns nochmals zum Arbeiten. Eine Beobachtung der Sterne ist nicht möglich, noch immer regnet es. Ich entschliesse mich deshalb, ein Thema einzufügen: Das Fernrohr. Ich erkläre den Aufbau: Mit einer ersten Linse (Objektiv) erzeugen wir ein kleines, auf dem Kopf stehendes Bild des Gegenstandes. Mit einer zweiten Linse (Okular), die als Lupe wirkt, vergrössern wir dieses Bild. Dann zeige ich den Schülern und Schülerinnen mit Dias die Entwicklung von Galileis Fernrohr bis zum Hubble-Space-Telescope.

Um halb elf Uhr werfe ich noch einen Blick auf den Himmel. Wie durch ein Wunder gibt es zwischen dunklen Wolken ein Fenster, durch das der fast volle Mond und Jupiter zu sehen sind. Rasch stellen wir das Fernrohr auf und betrachten die Krater auf dem Mond und die Monde des Jupiters.

³⁰⁰Stefan Zweig: Magellan, S.264

Dienstag, 2. Juli: Um halb zehn Uhr beginnen wir mit dem Unterricht. Ich habe eine grosse Weltkarte ausgebreitet, und die Schüler und Schülerinnen haben alle ein Buch mitgebracht, das zu einem fremden Land gehört. Wir legen die Bücher zu den entsprechenden Ländern, und alle stellen ihr Buch kurz vor. Danach haben die Schüler und Schülerinnen wieder Zeit, ihre Hefte nachzuführen.

Da das Wetter immer noch schlecht ist, die Prognose aber hoffen lässt, dass wir doch noch Sonne und Sterne sehen werden, entschliesse ich mich, mit den Akten „Sterne“ und „Sonne“ noch zuzuwarten. Ich füge deshalb am Dienstagnachmittag und -abend zwei weitere astronomische Themen ausserhalb des Lehrstück in den Kurs ein.

An der Wand ist eine lange Reihe von A4-Blättern angebracht, für jedes Jahrhundert ein Blatt, von 600 v.Chr. bis heute. Mit einigen markanten Ereignissen wollen wir uns einen ganz groben Überblick über die Weltgeschichte verschaffen und dann im Laufe der Woche die Entwicklung der Astronomie in dieses Schema eintragen. Schon bald fällt auf, dass wir über die Zeit von Christi Geburt bis etwa 1500 nur sehr wenig wissen. In dieser Zeit, das werden wir später sehen, hat auch die Astronomie keine Fortschritte gemacht. Wir benötigen etwa eine Stunde, um die wichtigsten geschichtlichen Daten einzutragen. Der Rest des Nachmittags steht für freie Arbeit zur Verfügung.

Nach dem Nachtessen treffen wir uns nochmals zum Arbeiten. Am Vorabend haben wir den Jupiter mit seinen Monden beobachtet. Ich bin zuversichtlich, dass wir im Lauf der Woche auch noch Saturn und Venus sehen werden. Ich habe mich deshalb entschlossen, einen Diavortrag zu den Planeten zu halten.

Als ich vor dem Schlafengehen am Dienstagabend noch einen Blick auf den Himmel werfe, sehe ich einige Löcher in der Wolkendecke. Ich stelle deshalb den Wecker auf halb vier Uhr. Und tatsächlich, als ich um diese Zeit vor das Haus trete, ist der ganze Sternenhimmel zu sehen. Ich stelle rasch das Fernrohr auf, denn Saturn leuchtet sehr schön, und wecke dann die Schüler und Schülerinnen. Verschlafen kommen sie nach und nach aus dem Haus, staunen über den unerwarteten Anblick des Sternenhimmels und sind begeistert von Saturn, dessen Ring im Fernrohr deutlich zu sehen ist. Wir begeben uns dann etwa fünfzig Meter hinter das Haus, wo man einen recht guten Rundblick hat, obwohl der Horizont durch Bäume im Osten und Westen etwas verdeckt ist. Eine Schülerin erkennt den grossen Bären, der im Nordwesten ganz knapp über den Bäumen steht. Ich erkläre, wie man vom Bären den Polarstern findet. Wir gehen dann weiter zu Cassiopeja, Andromeda, Perseus und Pegasus. Ich erzähle die Sage dazu. Dann wenden wir uns dem Sommerdreieck zu, das hoch über uns zu sehen ist: Schwan, Adler und Leier. Wir entdecken dort auch den Delphin. Erwin hat die Sage gelesen und erzählt sie uns. Im Osten erwarte ich Venus, lasse mich aber zuerst durch Capella täuschen. Die Bäume sind in dieser Himmelsrichtung offenbar zu hoch. Wir wechseln deshalb den Standort und werden durch einen wunderbaren Blick auf die Planeten belohnt: Im Osten steht die hell strahlende Venus, deren Sichelform im Fernrohr deutlich zu sehen ist. Im Süden steht Saturn und im Westen ist Jupiter kurz vor dem Untergehen. Es ist inzwischen schon nach fünf Uhr, der Morgen beginnt zu dämmern, und wir legen uns nochmals schlafen.

Mittwoch, 3. Juli: Nach dem Frühstück, das wir wegen der nächtlichen Beobachtung erst um 9.30 Uhr zu uns nehmen, versammeln wir uns vor dem Haus. Wir freuen uns alle über das wunderbare Wetter. Auf einem Tisch habe ich ein grosses Blatt befestigt und einen senkrecht stehenden Nagel aufgestellt. Ich zeige, wie wir im Laufe des Tages immer wieder die Spitze des Schattens, mit der entsprechenden Uhrzeit versehen, markieren wollen. Die ersten Messpunkte habe ich schon ein-

gezeichnet, jetzt sollen die Schüler und Schülerinnen diese Aufgabe übernehmen. Mit Farbstiften ausgerüstet begeben wir uns dann zu unserem nächtlichen Beobachtungsplatz, wo wir unseren Horizont zeichnen wollen. Während die Schüler und Schülerinnen mit grosser Sorgfalt ihre Zeichnungen gestalten, den Kreis dann ausschneiden und auf Karton kleben, übertrage ich meinen Horizont auf ein grosses Blatt Papier. Als wir uns wieder treffen, bitte ich die Schüler und Schülerinnen, mir zu helfen, die am Morgenhimmel entdeckten Sternbilder in diese „Landschaft“ einzutragen. Wir halten das Blatt zuerst senkrecht, Nordwesten gegen unten, und zeichnen den grossen Bären ein. „Im Norden muss der Polarstern stehen, etwa in der Mitte zwischen Horizont und Zenit.“ „Senkrecht über uns war das Sommerdreieck“. Das Blatt wird hoch über die Köpfe gehalten, und ein Schüler zeichnet, sorgfältig beobachtet und unterstützt von den andern, Schwan, Adler und Leier ein. Wir zeichnen noch Cassiopeja und auch die Planeten Venus, Saturn und Jupiter ein. Ich bitte die Schüler und Schülerinnen dann, vor dem Mittagessen die Sternbilder noch in ihre persönliche Horizontkarte einzutragen. Die Schüler und Schülerinnen protestieren: „Warum sollen wir die Sterne in die Karte eintragen, sie bewegen sich ja?“ „Die Zeichnung würde ja nur für heute morgen, etwa halb fünf gelten!“ Ich beruhige: „Dieses Problem werden wir nach dem Mittagessen lösen.“ Die Schüler und Schülerinnen finden die Lösung während der Mittagspause selber: Der Horizont muss fest bleiben, während die Zeichnung mit den Sternbildern drehbar sein muss. Auch der Drehpunkt ist schon klar: der Polarstern. Wir zeichnen die Sternbilder also auf ein Stück Klarsichtfolie und befestigen diese mit einer Reisszwecke, die durch den Polarstern gesteckt wird, am Karton.

Auf einem grossen Stück Papier habe ich alle Sterne eingezeichnet. Wir versammeln uns vor dieser Zeichnung. Wer kann ein Sternbild finden? Eine schwierige Aufgabe, denn das Bild ist noch ganz unübersichtlich. Manuela findet den grossen Bären, dessen Sterne wir mit Strichen verbinden, und von dessen Hinterseite gelangen wir zum Polarstern. Erwin: „Dann muss Cassiopeja auf der andern Seite sein.“ Wir verbinden auch diese Sterne miteinander. Schritt für Schritt kommen wir gemeinsam vorwärts, und langsam kommt etwas Ordnung in die Zeichnung. Annie kennt den Orion, der nur im Winter zu sehen ist. Die Schüler und Schülerinnen sind mit Eifer bei der Sache, nur selten muss ich helfen. Nachdem wir die wichtigsten Sternbilder, die im Laufe des Jahres von uns aus zu sehen sind, eingetragen haben, erhalten die Schüler und Schülerinnen eine Kopie mit den Sternen mit dem Auftrag, die Sternbilder einzutragen und anzuschreiben. Das Blatt wird dann auf einen Karton geklebt. Den ellipsenförmigen Horizont habe ich auf eine Klarsichtfolie kopiert, die mit einer Reisszwecke auf dem Karton befestigt werden kann. Damit hat jeder eine eigene, einfache Sternkarte. Anhand einiger Beispiele üben wir das Einstellen der Sternkarte, und wir hoffen, dass wir heute Abend einen klaren Himmel zum Beobachten haben.

Vor dem Nachtessen wollen wir aber nun noch unserer Aufzeichnung der Schattenlinie zuwenden. Wir konstruieren den kürzesten Schatten und finden ihn um 13.40. Warum nicht am Mittag? Eine Stunde Differenz ist durch die Sommerzeit rasch erklärt. Eine weitere halbe Stunde können wir mit den Zeitzonen begründen. Ich erkläre dann die verbleibenden Minuten mit der Zeitgleichung.

Abends um elf Uhr sind wir dann wieder an unserem Beobachtungsplatz. Das Wetter erlaubt zum Glück nochmals eine Betrachtung der Sternbilder. Einige davon sind uns bekannt, zum Beispiel der grosse Bär („der steht ja ganz anders als heute morgen!“), andere werden aufgrund der Sternkarte identifiziert. Etwa eine Stunde sind wir draussen.

Donnerstag, 4. Juli: Das Wetter hat wieder umgeschlagen, es regnet. Auf dem Tisch steht das Modell mit dem kleinen Globus in der Glaskugel. Die Griechen dachten, dass die Sterne an einer Glaskugel, die sich um die Erde dreht, befestigt sind. Wir wollen nun versuchen, die Sternbilder, die wir kennen, auf der Glaskugel aufzumalen. Sam: „Der Polarstern steht über dem Nordpol.“ Das Modell ist so gebaut, dass die Ekliptik parallel zur Tischebene liegt und die Erdachse $23,5^\circ$ dazu geneigt ist. Die Sternbilder liegen damit genau in derjenigen Richtung des Raumes, in der wir sie am Himmel gesehen haben. Trotzdem ist das Aufzeichnen der Sternbilder auf der Himmelskugel eine schwierige Aufgabe. Nachdem die wichtigsten Sternbilder richtig gezeichnet sind, zeichne ich noch den Himmelsäquator (die Projektion des Äquators vom Globus auf die Glaskugel) und die Ekliptik (die Ebene, in der die Sternbilder des Tierkreises liegen) auf die Glaskugel. Ich zeichne auch noch die Sonne, die zur Zeit im Krebs steht, und nun können wir die Glaskugel drehen und im Modell sehen, wie die Sonne aufgeht und ihren Bogen am Himmel macht. Wenn die Sonne am Abend untergeht, dann ist im Osten der Adler aufgegangen. Und wenn um Mitternacht der Adler bei uns im Süden zu sehen ist, dann steht er, weil er auf dem Himmelsäquator liegt, senkrecht über Kenja, und in New York ist er zu dieser Zeit im Osten aufgegangen. Damit haben wir den Bezug zwischen der Erde, die am Anfang des Kurses unser Thema war („die Erde ist rund“ und „die Bücher-Weltkarte“), und der Himmelskugel (Beobachtung der Sternbilder, Sternkarte) geschaffen, und ich lese den Schülern und Schülerinnen nun Hans Christoph Bergs Text „Mit Adler und Orion um die Welt“ vor.

Am Nachmittag haben die Schüler und Schülerinnen den Auftrag, sich in Gruppen individuell mit dem Thema „Mond“ zu beschäftigen: Wie entstehen die Phasen des Mondes? Warum hat der Mond vom Dienstag- zum Mittwochabend seine Position bezüglich Jupiter deutlich verändert? Was ist eine Mondfinsternis? Stimmt es, dass sie immer bei Vollmond auftritt?

Nach dem Nachtessen sitzen die Schüler und Schülerinnen gespannt bereit: Die ganze Woche haben wir uns mit elementaren Fragen auseinandergesetzt und selbständig nach Lösungen gesucht. Ich habe den Schülern und Schülerinnen versprochen, am Ende des Kurses in einem Diavortrag die Entwicklung von Galilei bis zu den Erkenntnissen der modernen Astronomie vorzustellen. Die wichtigsten Daten habe ich schon auf den Jahrhundert-Blättern eingetragen, um im Vortrag darauf hinweisen zu können. Anderthalb Stunden hören die Schüler und Schülerinnen gebannt zu und stellen Fragen, an denen ich erkennen kann, wie sehr sie sich interessieren.

Freitag, 5. Juli: Was ist Lehrkunst? Die Himmelskunde ist das dritte Lehrstück - nach Kerze und Barometer -, das die Schüler und Schülerinnen erleben. Ich versuche, am konkreten Beispiel einen Einblick in die Theorie der Lehrkunst zu geben: Was heisst „exemplarisch“? Und was heisst „genetisch“? Wie haben wir die genetische Methode in dieser Woche erlebt? Und was heisst „dramaturgisch“? Wie ist das Himmelskunde-Lehrstück gestaltet?

Kommentar:

Das Lehrstück musste bei äusserst schlechten Wetterbedingungen inszeniert werden: Regen und dunkle Wolken am Montag und Dienstag, strahlendes Wetter am Mittwoch, dann wieder Regen und Nebel am Donnerstag und Freitag. Ein einziger schöner Tag genügte aber, um die wichtigsten Beobachtungen zu machen

(Sternbilder am Morgen- und Abendhimmel, Sterne bewegen sich, kürzester Schatten: Zeit und Himmelsrichtungen), auf denen das Lehrstück aufbaut. Wichtig war, dass ich Geduld hatte, mit den Akten „Sterne“ und „Sonne“ zu warten, bis wir die Beobachtungen gemacht hatten. Dies bedingte, dass ich zu Beginn der Woche Themen einfügte, die im Lehrstück nicht vorgesehen waren, die aber gut dazu passten: die Theorie zum Fernrohr, das wir dann auch benutzen konnten, die Dias zu den Planeten, die wir dann auch sehr schön gesehen haben, und die Zeit-tabelle, die im Abschlussvortrag wieder zum Tragen kam.

4.2.3.4. Ueli Aeschlimann und Walter Balmer mit einer 5.-9.Klasse in Golaten, April 1997

Montagsmorgen, 2 Stunden: Die Schüler und Schülerinnen sitzen um eine auf dem Boden ausgebreitete Weltkarte herum. Sie hatten die Aufgabe, ein Land auszuwählen und sich darauf vorzubereiten, dieses Land vorzustellen. Die gewählten Länder verteilen sich über die ganze Weltkarte: Grönland, Alaska, Kanada, USA, Mexiko, Peru, Kenja, Sudan, Tschad, Israel, Griechenland, Malta, Indien, China, Australien, Neuseeland. Wir suchen die Länder auf der Weltkarte, was besonders den jüngeren Schülern und Schülerinnen zum Teil ziemliche Schwierigkeiten macht. Anschliessend erhält jeder Schüler und jede Schülerin eine Zeichnung mit den Umrissen der Kontinente. In diese Karte sollen nun die erwähnten Länder eingezeichnet werden.

Danach lese ich den Schülern und Schülerinnen den Text von Peter Bichsel vor. Woher wissen wir, dass die Erde rund ist? Wir diskutieren über das Schiff, das im Meer zu verschwinden scheint, und über die Veränderung des Sternenhimmels auf einer Nord-Süd-Reise. Dann begeben wir uns nach draussen. Die Sonne scheint. Ich habe ein flaches Stück Styropor und eine Kugel aus Styropor mitgebracht. In beide stecke ich in gleichem Abstand zwei Zahnstocher. Anhand des Schattens kann man die Krümmung der Kugel sichtbar machen.

Montagnachmittag, 2 Stunden: Wir begeben uns auf das freie Feld, dort wo wir am Abend die Sterne beobachten wollen, und zeichnen den Horizont. Wir haben die Himmelsrichtungen mit vier in den Boden gesteckten Stäben markiert, und die Schüler und Schülerinnen zeichnen nun zuerst den Horizont in vier Bildern: das erste Bild von Norden bis Osten, das nächste von Osten bis Süden usw. Es ist eine schwierige Aufgabe: Schon das Einteilen dieser vier Strecken ist nicht einfach: Wie weit ist der Baum vom Norden entfernt? Welche Details soll ich zeichnen? Walter Balmer und ich werden viel um Rat und Hilfe gefragt. Nach einer guten Stunde sind dann aber doch alle fertig, und wir begeben uns ins Schulzimmer zurück. Dort bitte ich die Schüler und Schülerinnen, mit dem Zirkel einen Kreis auf ein weisses Blatt zu zeichnen und die Himmelsrichtungen anzuschreiben: Oben Norden, links Westen, rechts Osten (umgekehrt als auf der Weltkarte) und unten Süden. Dann wird der Horizont von der Zeichnung, die wir draussen erstellt haben, übertragen.

Montagabend, 1 Stunde: Als wir uns am Abend beim Schulhaus treffen, hat die Dämmerung eingesetzt, und man sieht schon die ersten Sterne. Bald sind wir beim Beobachtungsplatz, und langsam sind auch schon die ersten Sternbilder zu erkennen. Orion im Westen, links davon, genau über einer hohen Tanne, strahlt Sirius. Im Südosten erkennen wir die hellsten Sterne des Löwen, darunter leuchtet der rötlich-helle Mars. Im Südwesten, nahe bei den Zwillingen, steht der zunehmende Halbmond. Er ist seit Mitte Nachmittag, als wir ihn im Südosten sahen, ein

grosses Stück weitergewandert. Und gerade in diesem Moment leuchtet in unserer Blickrichtung eine helle Sternschnuppe auf. Hoch über uns, Richtung Nordosten, steht der grosse Bär. Von ihm aus finden wir den Polarstern, weiter das Himmels-W, die Cassiopeja. Und dann natürlich im Nordwesten der helle Komet Hale-Bopp mit seinem deutlichen Schweif. Ich zeige den Schülern und Schülerinnen die Sternbilder und erzähle ihnen die griechischen Sagen von Kallisto, die zur Bärin verwandelt und von Zeus an den Himmel versetzt wurde, damit sie als Bärin nicht von ihrem Sohn Arkas (Arktur) erlegt wird. Und ich erzähle auch vom Löwen, den Herkules erwürgte, nachdem seine Pfeile das Fell nicht durchbohren konnten. Nach einer Stunde lenke ich die Aufmerksamkeit nochmals auf den Sirius: Deutlich ist zu sehen, dass er ein gutes Stück weitergewandert ist und nicht mehr über der Tanne steht. Auch beim Orion, der zu Beginn unserer Beobachtung bei der Hochspannungsleitung stand, kann man die Bewegung gut erkennen. Nur der Polarstern steht unverändert im Norden. Ein letzter Rundblick, damit wir uns morgen noch erinnern können, wo die Sterne standen, dann kehren wir zum Schulhaus zurück.

Dienstagmorgen, 4 Stunden: Die Schüler erinnern sich erstaunlich gut an die Sternbilder und zeichnen sie an die Wandtafel. Wir wollen nun die Sternbilder in die Horizontkarte eintragen. Dazu habe ich den Horizont auf ein grosses Papier übertragen. Wir begeben uns wieder zum Beobachtungspunkt. Sirius war über der grossen Tanne. Wir halten das Papier in diese Richtung und zeichnen Sirius ein. Orion stand daneben und kann ebenfalls leicht eingezeichnet werden. Dann halten wir den Karton über uns - es ist jetzt klar, warum gestern beim Zeichnen Westen und Osten umgekehrt gezeichnet werden mussten als auf der Weltkarte: auf diese blicken wir ja hinunter, während wir auf unsere Sternenkarte nach oben blicken. Wir zeichnen den Bären. Mit seinem Schwanz findet man den Arktur - aber er war am Himmel an einer ganz andern Stelle!? Stefan merkt sofort: Wir haben den Schwanz verkehrt gezeichnet. Richtig, er zeigte doch gegen den Horizont, also korrigieren wir. Mehr und mehr füllt sich die Karte.³⁰¹

Zurück im Schulzimmer können die Schüler und Schülerinnen die Sternbilder von der gemeinsam erarbeiteten grossen Karte in ihren eigenen Horizont übertragen. Wie kann man der Bewegung der Sterne Rechnung tragen? Erstaunlicherweise finden die Schüler und Schülerinnen die Lösung schnell: Wir müssen die Sterne auf eine Folie zeichnen, die sich drehen lässt. Und dass der Drehpunkt nicht im Zentrum liegt, sondern beim Polarstern, ist völlig klar: Der Polarstern hat sich ja nicht bewegt.

Als nächstes habe ich auf einem grossen Karton die hellsten Sterne, die wir von uns aus sehen können, mit Filzstift als schwarze Punkte eingezeichnet. Ein unübersichtliches Bild. Wir finden aber den grossen Bären, Cassiopeja, und langsam füllt sich dann die Zeichnung. Ich verteile jedem Schüler und jeder Schülerin eine Kopie mit den wichtigsten Sternen und bitte sie, die Sternbilder einzuzichnen und anzuschreiben. Die Kopie wird auf einen Karton geklebt und mit einer Reisszwecke der drehbare, auf Folie kopierte Horizont darauf befestigt - und schon ist unsere eigene Sternkarte fertig. Zum Schluss des Morgens lernen wir noch, wie man die Sternkarte einstellen muss.

³⁰¹ Der Ertrag der nächtlichen Beobachtung war erstaunlich gross. Man darf nicht vergessen, dass es sich um eine Primarschulklasse handelt, also um die intellektuell weniger begabten Kinder. Für sie ist die primäre Anschauung ganz besonders wichtig. Erst wenn das direkte Bild in den Schülern und Schülerinnen verankert ist, kann der Schritt zum Abstrakten (hier das Aufzeichnen auf der Horizontkarte) gelingen. Wichtig war, dass wir zum Einzeichnen der Sternbilder wieder zum Beobachtungsplatz gegangen sind und damit ganz direkt an die Beobachtung anschliessen konnten.

Mittwochmorgen, 2 Stunden: Als Ergänzung zum Thema Weltkarte und Globus erzähle ich den Schülern und Schülerinnen ausführlich über die Reise von Magellan. Am Donnerstag werden sie eine Stunde Zeit haben, um diese Reise in eigenen Worten zu beschreiben.

Dann begeben wir uns auf den Pausenplatz. Mit Farbe haben Dominik und Jürg im Laufe des Montags immer wieder den Schatten eines 1 m grossen Stabes markiert und die Zeit dazugeschrieben. Wann ist Mittag? Wir suchen den kürzesten Schatten: 13.30 Warum nicht 12.00? Eine Stunde, die der Sommerzeit zugeschrieben wird, ist rasch geklärt. Die restliche halbe Stunde bietet aber grosse Schwierigkeiten.

Donnerstag, 1 Stunde: Die Schüler und Schülerinnen verfassen ihre Texte zur Reise von Magellan.³⁰²

Freitag, 4 Stunden: Heute geht es darum, die Kenntnis von Erde, Sternen und Zeit zusammenzuführen. Auf einer grossen Glaskugel, in deren Zentrum ein kleiner Globus angebracht ist, wollen wir die Sternbilder so aufzeichnen, wie wir sie am Himmel gesehen haben. Wir begeben uns dazu wieder auf unseren Beobachtungsplatz. In drei Gruppen machen wir uns an diese schwierige Aufgabe. Es wird lebhaft diskutiert, gelegentlich muss auch ein Sternbild weggewischt und neu gezeichnet werden. Nach einer halben Stunde sind die wichtigsten Sternbilder (Orion, Cassiopeja, der grosse Bär, der Löwe) eingezeichnet.

Zurück im Schulzimmer geht es darum, mit dem aus der Anschauung gewonnenen Modell zu arbeiten. Wir zeichnen noch die Sonne auf die Glaskugel. Durch Drehen der Glaskugel kann man nun sehen, wie die Sonne aufgeht, am Mittag schräg über Europa steht und am Abend, wenn sie über Amerika steht, bei uns untergeht. Und so wie die Sonne sich am Tag am Himmel bewegt, so bewegt sich nachts der Löwe am Himmel, während der Bär einen viel kleineren Kreis beschreibt, weil er näher am Polarstern steht. Die Arbeit mit dem Modell ist für die Schüler und Schülerinnen sehr schwierig.

Als Abschluss der Himmelskunde-Woche zeige ich den Schülern und Schülerinnen mit Dias den Weg von der griechischen Astronomie bis heute. Aus aktuellem Anlass - Hale-Bopp war damals sehr schön zu sehen - gehe ich dabei besonders auf das Thema Kometen ein.

Kommentar

- Aus zeitlichen Gründen habe ich die Komponente „Mond“ weggelassen.
- Die Schüler und Schülerinnen hatten Mühe, wenn es um abstrakte Dinge ging, insbesondere beim Kapitel mit den Zeitzonen und der Arbeit mit dem Modell Glaskugel / Globus. Sehr gut gearbeitet, und entsprechen viel gelernt, haben sie dort, wo die Arbeit direkt mit der Anschauung verbunden war, insbesondere die Entwicklung der Sternkarte.
- Es hat sich sehr bewährt, immer wieder zum Beobachtungsort gehen zu können: Das Einzeichnen der Sterne in den Horizont und das Aufzeichnen der Sternbilder auf die Glaskugel konnten dort gemacht werden, wo wir auch beobachtet haben.
- Die Schattenlinie wurde auf dem Pausenplatz aufgezeichnet. Als Vorbereitung hatte Walter Balmer die Schattenlinie schon ein paar Wochen früher aufzeichnen

³⁰² Den Text von Simon findet man im Unterrichtsbericht in Kapitel 4.2.2.

lassen. Der Schatten war inzwischen kürzer geworden, die Linie weniger gekrümmt, aber der kürzeste Schatten zeigte genau in die gleiche Richtung.

- Das Lehrstück konnte im Rahmen des regulären Unterrichts inszeniert werden. Wir hatten abgemacht, dass wir beginnen, wenn die Wetterlage günstig ist, und dass dann in dieser Woche die andern Fächer etwas in den Hintergrund treten können. Dies war möglich, weil diese Klasse nicht im Fachlehrersystem unterrichtet wird, sondern der grössten Teil des Unterrichts bei Walter Balmer stattfindet. Für seine Bereitschaft, zugunsten der Himmelskunde während einer Woche die andern Fächer zu kürzen, bin ich sehr dankbar, es hat sich für alle gelohnt!
- Bei der Klasse handelt es sich um eine Mehrjahrgangsklasse: 3 Schüler/innen aus der 5.Klasse, 3 Schüler/innen aus der 6.Klasse, 4 Schüler/innen aus der 7.Klasse, 2 Schüler/innen aus der 8.Klasse und 7 Schüler/innen aus der 9.Klasse
- Eine zweite nächtliche Beobachtung war in dieser Woche nicht realisierbar. Eine ausführliche Beobachtung von Abendhimmel und Morgenhimmel war aber in einer in diesem Quartal durchgeführten Nachtwanderung möglich.

4.2.3.5. Ueli Aeschlimann mit einer 10.Klasse des Lehrerseminars Bern, Studienwoche in Prés d'Orvin 1998

Sonntag: Wir reisen am Sonntagnachmittag an, um die Himmelskundewoche am Abend mit der Beobachtung der Sterne zu beginnen. Leider macht das Wetter nicht mit, der Himmel ist mit dichten Wolken bedeckt.

Montag: Der Himmel ist immer noch bewölkt, aber vereinzelt blickt die Sonne durch die Wolken hindurch. Wir werden versuchen, die sonnigen Momente zum Zeichnen der Schattenlinie auszunützen. Ich zeige den Schülern und Schülerinnen, wie wir den Sonnenschatten aufzeichnen wollen, und anschliessend wende ich mich dem Thema „Erde“ zu. Wir setzen uns auf der Terrasse um einen grossen Tisch, auf dem ich eine Weltkarte ausgebreitet habe. Die Schüler stellen nun ihre Bücher vor, die sie auf meinen Wunsch hin mitgebracht hatten. Dann lese ich den Seminaristen und Seminaristinnen die Textstelle von Peter Bichsel vor. Welche Beweise für die runde Erde kennen wir? Kathrin: „Satellitenbilder.“ Lehrer: „Überzeugt euch das?“ „Ja.“ Lehrer: „Wie lange gibt es schon Satellitenbilder?“ Sushil: „Etwa seit 1960.“ Lehrer: „Richtig. Sputnik war der erste Satellit, der die Erde umkreiste, 1957. Er konnte allerdings noch nicht photographieren. Dass die Erde eine Kugel ist, wussten aber schon die Griechen. Kennt jemand noch einen Beweis?“ Murielle: „Beim Meer sieht man es: ein Schiff, das vom Ufer wegfährt, versinkt im Meer.“ Lehrer: „Hat das jemand schon gesehen?“ Vier Schüler und Schülerinnen versichern, dass sie das schon gesehen haben. Lehrer: „Gibt es noch weitere Beobachtungen, die zeigen, dass die Erde rund ist?“ Bettina: „Die Jahreszeiten. Sie entstehen, weil sich die Erde bewegt.“ Lehrer: „Wenn wir uns nur auf das verlassen, was wir sehen, merken wir nicht, dass sich die Erde bewegt. Wir sehen einfach, dass die Sonne im Sommer höher am Himmel steht und länger scheint, deshalb ist es wärmer.“ Reyhan: „Wenn wir nach Neuseeland fliegen, können wir auf beide Seiten wegfliegen.“ Lehrer: „Ja. Bekannt ist auch, dass man von Zürich nach New York über England fliegt. Auf der Weltkarte sieht das aus wie ein Umweg, aber auf dem Globus wird das sofort klar.“ Ich zeige es mit einem Faden, den ich auf dem grossen Globus von Zürich nach New York spanne. Lehrer: „Aber wir sind damit wieder weit weg von den Griechen. Es gibt noch zwei Beweise aus der Astronomie: die Mondfinsternis, die zeigt, dass die Erde einen runden Schatten wirft, und die Höhe des Polarsterns, die zunimmt, wenn wir nach Norden reisen.“ Als nächstes

zeige ich den Schülern und Schülerinnen, wie Eratosthenes den Durchmesser der Erde bestimmte. Nach einer kurzen Pause erzähle ich dann noch von der Reise Magellans.

Am Nachmittag arbeiten die Schüler und Schülerinnen unter der Leitung meines Kollegen an einem nicht himmelskundlichen Thema. Das Wetter hat sich deutlich gebessert, so dass die Schüler und Schülerinnen zwischendurch immer wieder den Stand des Schattens aufzeichnen können. Um 16.30 treffen wir uns wieder auf der Terrasse zum Auswerten der Schattenlinie³⁰³.

Montagabend: Die Wolken sind zu dicht. Zwar blinkt hin und wieder ein Stern zwischen den Wolken hervor, manchmal auch der helle Jupiter, aber eine Beobachtung von Sternbildern lässt dies nicht zu. Vielleicht bessert sich das Wetter bis zum Morgen.

Dienstag, 03.30: Ich schaue aus dem Fenster und sehe Sterne! Zwar ist es etwas dunstig, aber die Chance auf eine - vielleicht die einzige - Sternbeobachtung wollen wir uns natürlich nicht entgehen lassen, und so wecke ich die Schüler und Schülerinnen. Wir begeben uns zu unserem Beobachtungsplatz, einige Schritte hinter dem Haus. Bettina kennt Cassiopeja, ich ergänze Andromeda und erzähle die zugehörige Sage. Wir drehen uns dann auf die andere Seite: Senkrecht über uns sehen wir Deneb, den hellsten Stern im Schwan, auch der Adler ist gut zu sehen, während die Leier durch eine Wolke versteckt wird, nur gerade Wega, der hellste Stern ist sichtbar, damit aber das ganze Sommerdreieck. Unsere ruhige Sternbeobachtung wird plötzlich unterbrochen: Ein heller Meteor ist während einiger Sekunden zu sehen, selten habe ich einen so schönen gesehen, und es ist natürlich Glück, dass wir alle unsere Blicke in diese Richtung gelenkt haben. Leider werden die Wolken langsam dichter. Wir finden noch den grossen Bären, müssen dann aber unsere Beobachtungen abbrechen.

Nach dem Morgenessen schauen wir zurück auf unsere nächtliche Beobachtung: Was hatten wir gesehen? Wo standen welche Sternbilder? Ich bitte die Schüler und Schülerinnen, über die nächtliche Beobachtung einen Text zu schreiben. Für den Rest des Vormittags ist dann wieder mein Kollege an der Reihe.

Am Nachmittag ist der Himmel bedeckt, aber es regnet nicht, und so nehmen wir das Zeichnen des Horizonts in Angriff. Ich erläutere das Vorgehen: Zuerst werden vier einzelne Zeichnungen des Horizonts erstellt: die erste mit Blick nach Süden, sie soll den Horizont von Südost bis Südwest erfassen, die zweite mit Blick nach Westen, also von Südwest bis Nordwest und damit anschliessend an die erste Zeichnung, usw. In einem zweiten Schritt wird dann der ganze Horizont in einen Kreis von ca. 10 cm Durchmesser gezeichnet und diese Zeichnung auf einen Karton aufgeklebt. Einige Schüler und Schülerinnen sind sehr schnell mit ihren Zeichnungen zufrieden, während sich andere grosse Mühe geben.

Nach dem Nachtessen ist der Himmel immer noch bedeckt. Ich entschlüsse mich daher, noch eine kleine Sequenz als Vorbereitung des für den Abschluss der Woche geplanten Diavortrages zur Geschichte der Astronomie durchzuführen. An der Wand habe ich auf einem 2 Meter langen Papierstreifen eine Zeitachse von 800 v.Chr. bis heute gezeichnet. Ich teile die Klasse in vier Gruppen. Jede Gruppe erhält Klebezettel mit dem Auftrag, zehn geschichtlich wichtige Ereignisse zu nennen (nicht astronomische, sondern wichtige Erfindungen und politisch wegweisende Ereignisse, kulturell herausragende Leistungen,...). Die Zettel werden

³⁰³ Diese Sequenz ist in Kapitel 4.2.2. ausführlich dargestellt.

dann auf der Zeitachse aufgeklebt, und wir vergleichen: Welche Ereignisse sind so wichtig, dass sie von jeder Gruppe erwähnt wurden? Wo sind wichtige Ereignisse falsch plaziert? Was fehlt?

Um halb elf Uhr werfe ich nochmals einen Blick auf den Himmel, und zu meiner grossen Überraschung und Freude sehe ich einen klaren Sternenhimmel. Ich rufe also die Schüler und Schülerinnen zusammen, und wir begeben uns zu unserem Beobachtungsplatz. Andrea: „Der Schwan stand ja heute früh an einem ganz andern Ort!“ Vom Schwan aus finden wir den Adler, dann suchen wir Cassiopeja, das Himmels-W ist den Schülern und Schülerinnen noch bekannt, von dort aus finden wir Andromeda und Pegasus. Lehrer: „Wo finden wir den Polarstern?“ Cornelia: „Im Norden“ Bettina: „In 47 Grad Höhe“. Ja, dort steht er. Und wir finden auch den grossen und den kleinen Bären und den Drachen, der sich zwischen den beiden durchwindet. Und beim Kopf des Drachen finden wir Herkules, der mit dem Drachen kämpft, fast senkrecht über uns. Ich erzähle von Herkules und seinen berühmten Taten, vom Kampf mit dem nemäischen Löwen, und wir suchen dazu das Sternbild: Der Kopf des Löwen ist im Westen schon in den Wald hinuntergetaucht, der Leib ist aber noch deutlich zu sehen. Kathrin: „Der Löwe ist doch ein Sternzeichen, kann man die andern Sternzeichen auch sehen?“ Lehrer: „Ja. Schaut mal nach Süden, dort ist der Skorpion sehr schön zu sehen. Links davon sehen wir den Schützen, rechts die Waage. Und der helle Stern etwas weiter im Westen ist Spica, aus dem Sternbild der Jungfrau.“

Mittwoch: Um 9.30, etwas später als üblich wegen der nächtlichen Beobachtung, treffen wir uns zur Weiterarbeit am Beobachtungsplatz. Ich habe auf einem grossen Papier eine Horizontkarte gezeichnet, und wir wollen nun gemeinsam die Sternbilder, die wir in der Nacht gesehen hatten, eintragen. Cornelia: „Im Süden sahen wir den Skorpion.“ Wir halten das Blatt Richtung Süden, so dass wir über dem Südhorizont den Skorpion einzeichnen können. Manuela: „Im Norden ist der Polarstern.“ Wir tragen ihn ein, etwa in der Mitte zwischen Horizont und Zenit. Dann zeichnen wir den grossen Bären und Cassiopeja ein, dann das Sommerdreieck mit Schwan, Adler und Leier. Nach und nach füllt sich das Blatt. Lehrer: „Wir haben nun eine Sternkarte gezeichnet, denn mit dieser Zeichnung können wir uns am Himmel orientieren. Der Nachteil ist: Sie gilt nur für 23 Uhr, denn wir haben ja gesehen, dass sich die Sterne weiterbewegen.“ Die Lösung wird schnell gefunden: Da alle Sterne um den Polarstern kreisen, muss man die Sterne auf einem Deckblatt einzeichnen, das sich gegenüber dem festen Horizont drehen lässt. Die Schüler und Schülerinnen übertragen nun die Sternbilder von der gemeinsam erarbeiteten Zeichnung auf ihre eigene Horizontzeichnung. Dann befestigen wir mit einer Reisszwecke, die wir beim Polarstern einstecken, eine Folie, auf die wir die Sternbilder übertragen, und fertig ist unsere Horizontkarte. Wir prüfen, ob wir die Situation für 4 Uhr morgens einstellen können. In der Tat: Andromeda, am Abend nur knapp über dem Wald, steht jetzt höher, dafür steht der Adler nur knapp über dem Wald im Westen, und der Löwe steht im Norden unter dem Horizont. Stimmt, er war ja um Mitternacht gerade am Untergehen.

Mittwochnachmittag: Auf einem grossen Papier habe ich alle Sterne, die wir im Laufe eines Jahres sehen können, aufgezeichnet. Ein unübersichtliches Meer von Punkten! Nach und nach erkennen wir einzelne Sternbilder und gewinnen damit immer mehr Übersicht. Die Schüler und Schülerinnen übertragen dann die Sternbilder auf eine vorbereitete Kopie mit den wichtigsten Sternen, schreiben die Namen zu den Sternbildern, kleben die Kopie auf einen Karton und befestigen mit einer Reisszwecke eine Folie mit dem ellipsenförmigen Horizont: Jeder hat so

seine eigene Sternkarte gebastelt. Leider hat sich am Abend das Wetter verschlechtert, so dass wir die Sternkarte nicht mehr am Himmel testen können. Am nächsten Morgen ist die Gegend in Nebel gehüllt, und es regnet.

Donnerstag: Wir wollen nun unsere Kenntnisse von Erde, Zeit und Sternbildern zusammensetzen zu einem Weltbild. Wir sitzen um den Tisch - wegen des Regens diesmal im Haus. Ich zeige mein Modell: eine (noch unbeschriebene) Glaskugel mit einem Globus im Zentrum. Wir richten die Erdachse so, dass sie auf den Polarstern zeigt, und versuchen nun, aus der Erinnerung der mitternächtlichen Sternbeobachtung die Sternbilder auf die Kugel zu zeichnen. Das ist immer wieder schwierig: Ein Schüler muss durch die Glaskugel in die Richtung schauen, in der er das Sternbild gesehen hat, und er muss einem Mitschüler befehlen, was er zeichnen soll, denn dieser muss das Sternbild ja seitenverkehrt zeichnen. Es gelingt, die wichtigsten Sternbilder richtig einzuzichnen: Adler, Cassiopeja, Schwan, grosser Bär, ich ergänze noch den Orion. Dann überlegen wir: Wenn wir den Adler im Süden sehen, wer sieht ihn senkrecht über sich? Für wen geht er zu diesem Zeitpunkt gerade auf? Und was sieht der Adler von der Erde? Eine gute Stunde arbeiten wir sehr konzentriert.

Donnerstagabend: Dias, zwei Stunden, immer wieder unterbrochen von Fragen der Schüler und Schülerinnen. Ich ergänze während des Vortrags auch unsere Zeit-tabelle: Wann lebte Galilei? Wann entdeckte Herschel den Uranus? Wann bewies Hubble, dass der Andromedanebel eine eigene Galaxie ist? Die Schüler und Schülerinnen sind sehr aufmerksam. Die faszinierende Reise durch die Geschichte der Entdeckungen und durch das Weltall setzt immer wieder einen schönen Schlusspunkt unter die Himmelskundewoche.

Kommentar:

- Wir hatten in dieser Woche nur einen schönen Tag, aber der war sehr ergiebig: Wir konnten den Morgenhimmel beobachten und daraus im Laufe des Tages die Sternkarte entwickeln, mit der wir am Abend den ganz anderen Nachthimmel kennenlernen konnten. Parallel zur Erarbeitung der Sternkarte war es möglich, eine schöne Schattenlinie aufzuzeichnen.
- In dieser Woche stand nur ein Teil der Zeit für die Himmelskunde zur Verfügung, da mein Kollege mit den Schülern und Schülerinnen an einem andern Thema arbeitete.
- Das inzwischen mehrfach erprobte Konzept³⁰⁴ hat sich in dieser Woche sehr bewährt.

³⁰⁴ Vgl. Kapitel 4.2.1.3. (s.144-146)

4.2.3.6. Überblick

Goldern, 1990

	Samstag	So	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
Vormittag	11.20-12.15 Wie spät ist es?	Schattenlinie zeichnen	11.20-12.15 Sonnenschatten und Uhrzeit	11.20-12.15 Die Uhr wird zum Kompass	11.20-12.15 Vom Skorpion bis zur Sonne	11.20-12.15 Die Erde steht. der Himmel dreht	11.20-12.15 Die drehbare Sternkarte
Nachmittag							14.00-15.00 Der „Lift“
Abend				22.00-24.00 Auch die Sterne bewegen sich		22.00-23.00 Bekanntes und Neues am Himmel	

Langenbruck, 1995

	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag
Morgen		4.00 Kleiner Pyjamablick auf die Sterne	3.30: 1 Stunde Sternbeobachtung		5.30 Sonnenaufgang
Vormittag		10.00-12.00 Über die Sterne zur Erde 12.00-13.00 individuelle Arbeit	10.30-11.30 Adler und Orion 12.00-13.00 individuelle Arbeit	10.00-12.00 Weltkarte mit Literatur erschliessen 12.00-13.00 individuelle Arbeit	8.00-10.00 Globus und Stern- karte miteinander
Nachmittag	17.00-18.00 Ouvertüre	16.00-17.00: Horizont zeichnen 17.30-18.30 Schatten und Uhr	16.30-18.30 Horizontkarte	16.30-17.30 drehbare Sternkarte 17.30-18.30 Ausblick: Diavortrag	
Abend	21.00: Sternbilder beobachten (1 Stunde)	21.00 griechische Tänze kleiner Sternenblick	21.00 griechische Tänze Sternbeobachtung (1 Stunde)	21.00 griechische Tänze kleiner Sternenblick	

Prés-d'Orvin, 1996

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
Morgen			4.00-5.00: Morgenhimmel beobachten		
Vormittag		9.30-10.30 Weltkarte 11.00-12.00 individuelle Arbeit	10.30-11.30 Horizont zeichnen	9.30-10.30 Mit Orion und Adler um die Welt 11.00-12.00 individuelle Arbeit	9.30-10.30 Theorie zur Lehrkunst-Didaktik
Nachmittag	15.00-17.00: Die Erde ist rund 17.30-18.30 individuelle Arbeit	15.00-16.00 geschichtlicher Überblick 16.30-17.30 individuelle Arbeit	14.00-15.00: individuelle Arbeit 15.00-17.00: Horizontkarte und Sternkarte 17.30-18.30 Schattenlinie auswerten	15.00-16.00 Der Mond 16.30-17.30 individuelle Arbeit	
Abend	20.00-21.00 Dias zum Thema Fernrohr	20.00-21.00 Dias zum Thema Planeten		20.00-21.30 Ausblick (Dia- vortrag)	

Golaten, 1997

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Dienstag
Vormittag	10.15-11.45 Weltkarte und Globus	8.15-11.45: Horizontkarte und Sternkarte entwickeln und anfertigen	10.15-11.45 Magellan Schattenlinie auswerten	1 Stunde individuelle Arbeit (im Unterricht) Text über die Reise von Magellan schreiben	8.15-9.45 Die Erde inmitten von Sonne und Sternen 10.15-11.45 Ausblick mit Diavortrag	2 Stunden individuelle Arbeit (im Unterricht) Heft zur Himmelskunde abschliessen.
Nachmittag	13.30-15.30 Horizont zeichnen	0,5 Stunden (Hausaufgabe) Text zum Sterne- beobachten schreiben				
Abend	21.00-22.00 Sternbilder beobachten					

Prés-d'Orvin, 1998

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag
Morgen		3.45-4.45: Morgenhimmel beobachten		
Vormittag	9.00-11.00 Weltkarte und Globus 11.00-12.00 individuelle Arbeit	10.00-11.00 Rückblick auf die Beobachtung 11.00-12.00 individuelle Arbeit	9.30-10.30 Horizontkarte entwickeln und anfertigen 11.00-12.00 individuelle Arbeit	9.30-10.30 Die Erde inmitten von Sonne und Sternen 11.00-12.00 individuelle Arbeit
Nachmittag	16.30-17.30 Schattenlinie auswerten	14.00-15.30: Horizont zeichnen	14.00-15.30: Sternkarte entwickeln und anfertigen	
Abend		22.45-0.15 Abendhimmel beobachten		20.00-22.00 Ausblick (Diavortrag mit Diskussion)

fiktive Woche

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
Morgen			3.30-4.30: Morgenhimmel beobachten		
Vormittag		9.00-10.00: Text schreiben: Sterne beobachten 10.00-12.00: Horizontkarte entwickeln und anfertigen	10.00-12.00: Weltkarte und Globus	9.00-10.00: individuelle Arbeit 10.00-12.00: Schattenlinie auswerten	9.00-10.00: individuelle Arbeit 10.00-12.00: Diavortrag
Nachmittag	15.00-17.00: Horizont zeichnen	14.00-15.00: individuelle Arbeit 15.00-17.00: Sternkarte entwickeln und anfertigen	14.00-15.00: individuelle Arbeit 15.00-17.00: Mond	14.00-15.00: individuelle Arbeit 15.00-17.00: Die Erde inmitten von Sonne, Mond und Sternen	
Abend	21.00-22.30: Sternbilder beobachten			21.30-22.30: Abendhimmel beobachten	

4.2.4. Rückblick auf die Inszenierung 98

4.2.4.1. Rückmeldungen der Schüler und Schülerinnen

Andrea K.: „Ich habe in diesen Tagen zu diesem mir vorher weitgehend unbekannten Thema viel gelernt.“ So äussern sich viele Schüler und Schülerinnen. Es zeigt sich, dass der Sternenhimmel wenig bekannt ist. Sabine: „Ich habe vieles gelernt. Diese Woche hat viel bewirkt: Kaum habe ich die Zeit, den Sternenhimmel anzusehen, vergeht die Zeit wie im Fluge, da ich jeweils alle mir jetzt bekannten Sternbilder ausfindig machen will.“

Dass wir nicht mit den neusten Erkenntnissen der Astronomie angefangen haben, sondern mit eigenen Beobachtungen, wurde von den Schülern und Schülerinnen positiv gewertet: Anja: „Ich war froh, dass wir versuchten, durch eigene Beobachtungen und Überlegungen Dinge zu erklären, wie es vielleicht schon die alten Griechen konnten.“

Guten Anklang fand die Sternkarte: Andrea F.: „Was ich super fand, war die fast selbst gemachte Sternbilderkarte, die ich sicher noch oft gebrauchen werde.“

Andrea P.: „Dass wir die Sternkarte selber machen mussten und nicht alles schon angeschrieben und eingetragen vorgelegt bekamen, fand ich gut.“ (vgl. dazu die Ergebnisse der Lernkontrolle, Kap.4.2.4.2.)

Unterschiedlich ist die Einschätzung der Sequenz „Die Erde ist rund“: Manuela: „Auch ich habe es als Kind gehört [dass die Erde rund ist U.A.] und seither gewusst, doch jetzt bereitete mir die einfachste Frage: »Woran erkenne ich es?« Mühe. Ich habe es einfach geglaubt, und diese Frage schien für mich persönlich gar nicht möglich zu beantworten, da die Erde zu gross ist und ich sie nicht von aussen anschauen kann.“ Bettina: „Ist die Erde rund? Meiner Meinung nach hätten wir etwas schneller zu den Beweisen gelangen sollen.“ Andrea P. hat es ähnlich erlebt: „Den ersten Block, in dem wir Beweise vorbringen mussten, dass die Erde rund ist, hat mich etwas harzig gedünkt. Wir kamen eine Weile wirklich nicht vorwärts Ich glaube, wir haben im Moment einfach nicht so kapiert, was Sie genau von uns wollen. [Nämlich, dass die Schüler und Schülerinnen selber denken und suchen sollen und nicht der Lehrer erklärt³⁰⁵] Die weiteren Blöcke waren dann deutlich interessanter und nicht mehr so harzig Ich habe noch nie so leicht gelernt wie in dieser Woche“

Der Blick auf Mond, Jupiter und Saturn wurde als eindrücklich empfunden, aber aufgrund der Rückmeldungen war das geduldige Anschauen des Sternenhimmels für viele das Schlüsselerlebnis. Kathrin: „Was mir sehr gefallen hat, war das Beobachten in der Nacht und die Geschichten, die Sie uns jeweils zu den Sternzeichen erzählt haben.“ Sabine: „Die nächtlichen Beobachtung des Sternhimmels waren (trotz grosser Müdigkeit) beeindruckend.“ Sushil: „Was unübertroffen schön war, war der Sternenhimmel, der mich einfach fesselt.“

Viele Schüler und Schülerinnen heben den Diavortrag als besonders eindrücklich hervor. Manuela: „Der Schluss der Woche mit der Diaschau, wo Sachen wiederholt wurden und Neues dazugekommen ist, war genial.“ Brigitte: „Die Dia-Vorführung am letzten Abend war sehr interessant und bewegte mich zum Nachdenken und Fragen über Welt, Mensch und Himmelsgewölbe.“ Andrea F.: „Am meisten beeindruckt und als Superschluss der Woche fand ich die Dia-Show.“ Auch wenn diese Bilder so faszinieren, ist für mich klar: Was von der Woche bleibt, ist das, was durch

³⁰⁵ Damit ein Denk-Druck aufkommt, darf kein Zeitdruck bestehen (Martin Wagenschein: Verstehen lehren; S.118)

intensive Auseinandersetzung gewonnen wurde. Das scheint auch den Schülern und Schülerinnen klar geworden zu sein: Kathrin: „Mir hat diese Woche Astronomie jedenfalls viel gebracht, vor allem weil wir viel selber erarbeitet haben und es so wirklich verstanden haben.“ Für mich war es wichtig, dass die Schüler und Schülerinnen über jede Sequenz einen eigenen Text in ihrem Heft formulieren. Manuela und Brigitte formulieren in ihren Rückmeldungen, dass ihnen das sehr geholfen hat: Manuela: „Nach den Gesprächen ist es oft mühsam, alles aufzuschreiben und ich denke ab und zu auch, das mag ich jetzt nicht, aber ich merke immer wieder, wie wichtig es ist, denn es ist genau das, was mich weiter bringt. Ich dachte, es zu verstehen und dann merke ich, dass ich es nicht in Worten ausdrücken kann oder dass ich nur einzelne Teile verstanden habe und nun, wenn es ums Aufschreiben geht, die Teile nicht zusammensetzen kann und es kommt auch vor, dass ich erst beim Aufschreiben merke, dass ich es gar nicht verstanden habe.“ Und Brigitte: „Die Methode, die wir zum Lernen anwendeten, war vielleicht manchmal etwas mühsam zum Vorankommen, zum Verstehen des Stoffes aber geradezu ideal. Während dem Schreiben des Arbeitsprotokolls befasste man sich nochmals mit dem Stoff, den man im Unterricht behandelt hatte. Jeden Schritt, den wir erforschten, ging man nochmals durch. So merkte ich jeweils sofort, ob ich alles begriffen hatte oder ob ich nur meinte, ich habe es begriffen.“

Zum Abschluss dieser Rückmeldungen noch Cornelia: „Wir merkten bei Ihrem Unterricht, dass es Ihnen auch wirklich Spass macht, mit uns in der Astronomie zu arbeiten.“ Ja, das stimmt natürlich!

4.2.4.2. Was bleibt? Kontrolle des Lernerfolgs

Im Januar 99, ein halbes Jahr nach der Himmelskundewoche 98 in Prés d'Orvin habe ich den Schülern und Schülerinnen unvorbereitet einige Fragen zum Thema „Sternbilder und Sternkarte“ vorgelegt. Das Ergebnis lässt sich folgendermassen zusammenfassen:

1) Das Einzeichnen von Sternbildern in eine stumme Karte hat sehr gut geklappt. Von den fünf Sternbildern grosser Bär, Cassiopeja, Schwan, Adler und Skorpion haben 12 von 16 Schülern und Schülerinnen mindestens vier richtig eingezeichnet. Ich denke, dass dieses gute Ergebnis weitgehend auf die Arbeit in der Himmelskundewoche zurückzuführen ist, denn Anfang der Woche, bei der ersten Himmelsbeobachtung war noch sehr wenig bekannt.

2) Etwa die Hälfte der Schülerinnen und Schüler gaben an, die Sternkarte seit der Himmelskundewoche mehrmals verwendet zu haben. Das deckt sich mit dem Ergebnis, dass 7 von 16 Schüler/innen eine konkrete Aufgabe³⁰⁶ mit Hilfe der Sternkarte richtig gelöst haben und auch richtig beschrieben haben, wie sie zur Lösung die Ausgabe die Sternkarte eingestellt haben.

3) Nur 5 von 16 Schüler/innen haben in diesem Winter den Orion schon gesehen, obschon er im Moment sehr schön am Abendhimmel zu sehen ist. Das deutet darauf hin, dass das Interesse nach einem halben Jahr deutlich abgenommen hat. Es ist wichtig, immer wieder die Sternbilder anzuschauen und sei es auch nur mit einem kurzen Blick, damit die Beziehung zu den Sternbildern nicht abreisst. Das Interesse ist vorhanden, das zeigt auch die Bemerkung mehrerer Schüler und Schülerinnen im Zusammenhang mit dieser Lernkontrolle: „Wann fahren wir mit der Astronomie weiter?“

³⁰⁶ Wann geht der Sirius heute (6.1.99) auf?

4.3. Didaktische Interpretation des Lehrstücks „Elementare Himmelskunde“

4.3.1. Genetisch

Wagenschein schrieb: „Ein naturwissenschaftliches Ergebnis kann nicht verstanden werden ohne Kenntnis des Weges, der zu ihm führte.“³⁰⁷ Dieser Prozess ist in der Astronomie besonders gefährdet. Die eigene Beobachtung wird durch das Licht der Städte und neuerdings durch die Laserkanonen der Discos immer mehr erschwert. Auch fehlt die Musse zur ruhigen Sternbeobachtung. Auf der andern Seite wächst die Flut der schnellen Belehrung. In Zeitungen, Fernsehen und im Internet findet man Informationen zu Galaxien, schwarzen Löchern und zum Urknall. Unter diesen Voraussetzungen scheint es mir besonders wichtig, dass in der Schule erlebt werden kann, wo die Wurzeln liegen, dass wesentliche Einsichten aus der Beobachtung mit freiem Auge hervorgehen und dass man durch das gründliche, kritische Nachdenken über diese Beobachtungen schliesslich zu Erkenntnissen kommt, die unserer Erfahrung widersprechen. Etwa: Wir wissen, dass die Erde sich dreht, aber wir erleben, wie die Sonne auf- und untergeht. Was ist nun „Wirklichkeit“? Es braucht dazu die Einwurzelung der Erfahrungen, und deshalb nehmen wir uns im Himmelskunde-Lehrstück so viel Zeit für die elementaren Erfahrungen, für das Kennenlernen des untersten Stockwerks im Bild des Turmes der Astronomie³⁰⁸.

Das Genetische kommt im Himmelskunde-Lehrstück im doppelten Sinn zum Tragen:

1) Innerhalb der einzelnen Komponenten: Die Schüler und Schülerinnen erleben, wie die Sternkarte entsteht: von der Horizontkarte - der Landkarte der Sterne -, die nur für einen ganz bestimmten Beobachtungsort zu einer bestimmten Zeit gilt, bis zur drehbaren Sternkarte, die das ganze Jahr zu jeder Zeit gebraucht werden kann und lediglich in Bezug auf die geographische Breite eingeschränkt ist. Oder: Die Schüler und Schülerinnen erarbeiten, wie man von der Bewegung der Sonne die Zeit und die Himmelsrichtungen ablesen kann.

2) Im Lehrstück als Ganzes: Aus den vier Grundkomponenten (Erde, Mond, Sonne, Sterne) wird das geozentrische Weltbild entwickelt: Die Erde inmitten von Sonne, Mond und Sternen.

„Wagenschein meint mit »Genetisch«: den Schüler in die Lage versetzen, in der das noch nicht verstandene Problem so vor ihm steht, wie es vor der Menschheit stand, als es noch nicht gelöst war.“³⁰⁹ Das ist schwierig, weil in der Himmelskunde die Kenntnisse der runden, bewegten Erde bei allen Schülern und Schülerinnen vorhanden sind. Man muss vereinbaren, diese Kenntnisse - im Wissen darum, dass sie richtig sind - vorläufig wegzuschieben. Die Erfahrung zeigt, dass es geht. Bettina schrieb in ihrer Rückmeldung³¹⁰: „Ich war vor allem froh, jegliche Fragen stellen zu können, auch die, die man eigentlich wissen sollte.“

Insgesamt zum Genetischen

Es ist ein wichtiges Ziel des Himmelskunde-Lehrstücks, dass die Schüler und Schülerinnen erkennen, dass ein Weltbild eine Interpretation unserer Beobachtungen ist. Dadurch soll auch das Verständnis geweckt werden, dass ein Weltbild nichts Absolutes ist, dass es sich wandeln kann. Ein Weltbild beschreibt die Welt

³⁰⁷ Martin Wagenschein: Die Pädagogische Dimension der Physik; S.89

³⁰⁸ Kapitel 4.2.1.1.

³⁰⁹ Hartmut von Hentig: Einführung zu „Verstehen lehren“, S.14-15

³¹⁰ Rückmeldung zur Himmelskunde-Woche in Prés d'Orvin 1998

nicht, wie sie ist, sondern wie wir sie aufgrund der heute gültigen Sichtweise verstehen. „Es war ein grosser Schritt von Galilei, die Welt so zu beschreiben, wie wir sie nicht erleben.“³¹¹ Wenn man das verstehen will, muss man die Schritte, die dazu geführt haben nachvollziehen. Indem das Himmelskunde-Lehrstück die Grundlagen der Astronomie sehr sorgfältig erarbeitet, nimmt es den genetischen Weg wirklich ernst.

Eine Pflanze besteht nicht nur aus der Blüte, es gehören auch Wurzel und Stengel dazu. Im Zentrum unseres Lehrstücks steht die Wurzel. Stengel und Blüte werden im Ausblick gezeigt, aber im Lehrstück selber setzt man sich nicht intensiv mit ihnen auseinander. Das muss einer späteren Phase des Unterrichts vorbehalten werden. Cornelia nach der Himmelskunde-Woche: „Ich freue mich schon darauf, wenn wir dieses Thema im Unterricht weiter behandeln.“³¹²

4.3.2. Sokratisch

Im Himmelskunde-Lehrstück werden an zwei Stellen längere sokratische Gespräche geführt:

1) Warum ist die Erde rund?

2) Warum ist der kürzeste Schatten nicht bei 12.00?

Beide Stellen erfüllen die Voraussetzungen für ein sokratisches Gespräch:

- Die Fragen betreffen Dinge, die wir zu wissen glauben. Sie überraschen uns, verunsichern uns, und wir geraten ins Nachdenken.

- „Es entwickelt sich eine Kette von Einfällen, Nachprüfungen, neuen Fragen, und so fort. Sie entwickelt sich erfahrungsgemäss dann am zuverlässigsten, wenn die Frage eingewurzelt war, wenn wir Geduld haben, auf produktive Einfälle zu warten; und wenn wir auf ihrer kritischen Nachprüfung bestehen.“³¹³ Die Erfahrung zeigt, dass die Schüler und Schülerinnen die Fragen weitgehend selber klären können. Im Fall der runden Erde ist leider das direkte Nachprüfen durch eigene Beobachtung nicht möglich. Zum Teil kann man auf Erfahrungen aus Ferienreisen zurückgreifen: Das Verschwinden des Schiffes im Meer können in der Regel einige Schüler und Schülerinnen aus eigener Erfahrung bestätigen, gelegentlich auch die Veränderung des Sternenhimmels. Und auch die Zeitzonen können mit Erfahrungen verbunden werden. Zum Beispiel: Weil Spanien, das viel weiter westlich liegt, auch mitteleuropäische Zeit hat, steht dort im Sommer die Sonne erst mitten am Nachmittag im höchsten Punkt.

Neben diesen Stellen gibt es andere, die nicht im sokratischen Gespräch erarbeitet werden, weil sich andere Unterrichtsformen mehr aufdrängen. Beispiel: die Entwicklung der Sternkarte: Wir beginnen mit dem Betrachten der Sternbilder. Wir staunen, aber es ist nicht das überraschende Stolpern, sondern das Ergriffen ein, welches unser Staunen auslöst. Ich zeige die Sternbilder und erzähle die griechischen Sagen, auch das ist nicht das sokratische Gespräch im Sinne von Wagenschein. Dann zeichnen wir den Horizont, zeichnen die Sternbilder ein und basteln die drehbare Sternkarte: ein genetischer Aufbau, die Schüler und Schülerinnen sind selber aktiv. Ein sokratisches Gespräch ist das nicht, aber, wie ich meine, trotzdem ein Unterricht im Sinne von Wagenschein: Geduldig und gründlich.

³¹¹ Carl Friedrich von Weizsäcker, zitiert nach M. Wagenschein: Verstehen lehren, S.102

³¹² Rückmeldung zur Himmelskunde-Woche in Prés d'Orvin 1998

³¹³ Martin Wagenschein: Verstehen lehren; S.83

4.3.3. Exemplarisch

Wagenschein zeichnet den Lehrer als Bergführer, aber einer, der nicht voran geht, sondern einer, der der Gruppe das Klettern beibringen will. Und er schreibt dann, und das sind die Sätze, auf die es mir hier ankommt: „Er braucht nicht alle Berge zu besuchen, es genügt ihm dieser und jener. Der Berg muss nur so gewählt werden, dass man an ihm das Steigen lernt und dass er den Verlauf der ganzen Gebirgskette überschauen und verstehen lehrt.“³¹⁴

a) Steigen lernen heisst hier:

1. Gewinnen von astronomischen Erkenntnissen

Die Kenntnisse der Astronomie wurden durch genaues Beobachten des Sternenhimmels gewonnen. Das Nachdenken über die Beobachtungen und über Zusammenhänge führte zu Theorien, hier zum geozentrischen Weltbild. Was im Lehrstück nicht erlebt werden kann: Viele Erkenntnisse erfordern eine Beobachtung über lange Zeit.

2. Aspektcharakter:

Wir dürfen nicht aus dem Blick verlieren, „dass nur eine Säule unserer menschlichen Natur ... uns diese Erkenntnisse finden liess, die Säule des Denkens, des Rechnens, des Fernrohrs [das im Himmelskunde-Lehrstück keine Bedeutung hat, U.A.] Wer wollte darauf verzichten, ein ganzer Mensch, ein Mensch mit Kopf und Herz zu sein?“³¹⁵ Daniel Ahrens hat darauf hingewiesen, dass die englische Sprache im Unterschied zur deutschen zwei Wörter für „Himmel“ kennt: „sky“ für den naturwissenschaftlichen Himmel und „heaven“ für den religiösen Himmel.³¹⁶

3. Arbeiten mit Modellen

Die Schüler und Schülerinnen lernen, die Blickrichtung zu wechseln: Bei den Mondphasen bewegt man zuerst die Styroporkugel im Licht um die eigene Person herum. Man beobachtet dabei die Mondphasen aus der Sicht eines Erdbewohners. Dann dreht man die Styroporkugel um den Globus herum, man schaut nun von aussen - so sind auch die Figuren in den Lehrbüchern gezeichnet. Der Wechsel des Standorts ist erfahrungsgemäss nicht selbstverständlich. Insbesondere jüngere Schüler und Schülerinnen müssen das üben und gedanklich durchdringen, bevor sie es verstanden haben. Dasselbe taucht dann beim Modell mit Globus und Glaskugel nochmals auf: Wir schauen von aussen auf die Glaskugel und müssen das in Verbindung bringen mit unserem Blick von der Erde aus.

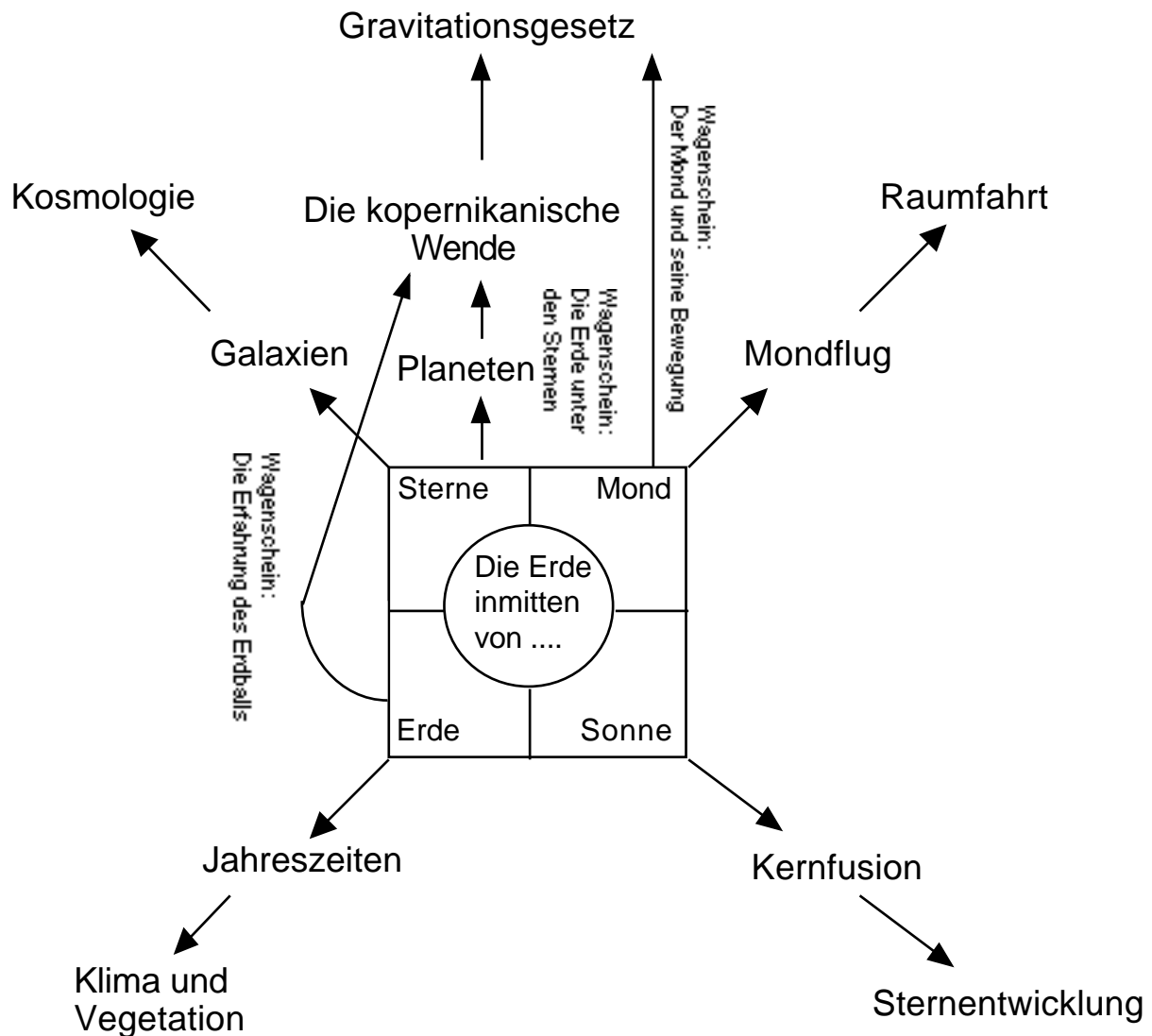
b) Verlauf der Gebirgskette: thematische Landkarte

Die thematische Landkarte zeigt, welche Gebiete vom Inhalt des Lehrstücks aus erschlossen werden können. Man sieht, dass man von verschiedenen Seiten aus weitergehen kann: zum Beispiel von den Sternen zu heutigen Vorstellungen über den Weltraum (Erde bewegt sich um Sonne, diese ist Teil einer Galaxie, ...), oder von der Erde aus in die Geographie (Klima, Vegetationszonen,...).

³¹⁴ Martin Wagenschein: Natur physikalisch gesehen; S.19

³¹⁵ Martin Wagenschein: Die Erde unter den Sternen; S.51

³¹⁶ Daniel Ahrens: Die beiden Himmel; In: Marburger Lehrkunst-Briefe, Herbst 1994, S.51



In der thematischen Landkarte sind die verschiedenen Wege von Wagenschein eingezeichnet:

- 1) „Die Erde unter den Sternen“: Der klassische Weg von den Sternen zu den merkwürdigen Planetenschleifen und weiter zum heliozentrischen Weltbild. Wenn wir diesen Weg mit einem Namen verknüpfen, dann ist es Kopernikus.
- 2) „Der Mond und seine Bewegung“: Von der Bewegung des Mondes wird das Gravitationsgesetz abgeleitet. Wenn wir diesen Weg mit einem Namen verknüpfen, dann ist es Newton.
- 3) „Die Erfahrung des Erdballs“: Von der Kugelgestalt der Erde über die Entfernung von Mond und Sonne zur bewegten Erde. Wenn wir diesen Weg mit einem Namen verknüpfen, dann ist es Aristarch.

4.3.4. Dramaturgisch

4.3.4.1. Die Theatermetapher - im Himmelskunde-Lehrstück

Die Metapher des Theaters hat sich in der Lehrkunst-Didaktik als sehr fruchtbar erwiesen. Viele, wenn auch nicht alle Aspekte der Gestaltung und Inszenierung eines Lehrstücks lassen sich mit diesem Bild deutlich machen. Ich stelle im

Folgendes das Lehrstück „Himmelskunde“ Brechts Schauspiel „Leben des Galilei“ gegenüber. Galilei tritt zwar im Himmelskunde-Lehrstück nicht auf, aber weil er eine der zentralen Figuren in der Geschichte der Astronomie ist, passt dieses Schauspiel natürlich gut in unseren Kontext.

Im Theater gibt es den Autor, der ein Thema anhand einer Figur in eine Folge von Handlungen, in ein Drama, umsetzt, das auf der Bühne aufgeführt werden kann. Der Regisseur inszeniert mit den Schauspielern das Stück und löst dabei beim Zuschauer Reaktionen (Emotionen, Nachdenken,..) aus. Übertragen wir dieses auf die Lehrkunst: Auch hier gibt es den Autor, der sich ein Thema, ein kollektives Lernereignis, auswählt. Im Himmelskunde-Lehrstück ist das Thema die Auseinandersetzung mit dem Himmel, so wie wir ihn sehen und erleben.

Es geht beim Schreiben eines Lehrstück nun darum, eine Grundfigur zu finden, einen „Helden“³¹⁷, an dem das kollektive Lernereignis festgemacht wird. Im Drama ist dies eine Figur, eine Rolle - im gewählten Beispiel von Brecht ist es Galilei -, im Lehrstück „Himmelskunde“ ist es ein „antiker Philosoph“, der sich mit Erde, Sonne, Mond und Sternen auseinandersetzt und aus dieser Auseinandersetzung ein Weltbild entwickelt. Ich habe Anführungszeichen gesetzt, weil einerseits antik nicht streng historisch gemeint ist: Von Magellan, der im Lehrstück auftritt, wusste ein griechischer Naturforscher noch nichts, und es gab auch keine Einteilung in Zeitzonen, keine genauen Uhren usw., und weil andererseits dieser „antike Philosoph“ im Lehrstück nicht als Person auftritt, sondern nur durch seine Sicht der Welt: Wir legen die geozentrische Denkweise der Griechen zugrunde, diskutieren aber die Details (z.B. Weltkarte) auf dem heutigen Stand. Wir erleben Erde, Sonne, Mond und Sterne ja nicht anders als die Menschen der Antike, wir wissen nur mehr darüber und wir müssen deshalb aufpassen, dass sich dieses Wissen nicht vor die „originale Begegnung“³¹⁸ schiebt.³¹⁹

³¹⁷ „Das Lehrstück braucht einen Protagonisten, einen Helden. Der Held ist jedoch keine Person, sondern - ja, wie soll ich sagen - ein Phänomen, ein Gebilde, ein Konzept, das wie eine »Figur« im Drama agiert, das eine »Entwicklung« durchläuft, das in eine »Krise« gerät, das am Ende in einer neuen Gestalt aus den Handlungen und Verwicklungen hervorgeht.“ Theodor Schulze:Lehrstück-Dramaturgie; S.379

³¹⁸ „Die originale Begegnung verlangt immer die wirkliche Begegnung mit dem Gegenstand. ... Es darf nicht nur über den Gegenstand geredet werden, sondern der Gegenstand muss selbst da sein.“ Heinrich Roth: Pädagogische Psychologie des Lehrens und Lernens; S.114

³¹⁹ Wolfgang Klafki fragte in diesem Zusammenhang: Wenn das Modell der Glaskugel erarbeitet wird, taucht da nicht die Bemerkung auf, dass die Sterne unterschiedlich weit entfernt sind? Es ist klar, dass viele Schüler das schon gehört und gelesen haben. Im Unterricht tauchte dieses Thema aber noch nie auf. Und wenn dieser Einwand vorgebracht würde, dann wäre das wieder eine Stelle, wo ich antworten würde: Richtig, aber sehen wir das, wenn wir nachts draussen stehen? Erleben wir den Sternenhimmel nicht wie eine Kuppel über uns? Der Nachweis der unterschiedlichen Entfernungen war ja eine ganz schwierige Sache, die erst Bessel 1838 gelang.

Drama im TheaterLehrstück im Unterricht

Bertolt Brecht	Autor	Daniel Ahrens, Hans Christoph Berg Und Ueli Aeschlimann
die Verantwortung des Naturwissenschaftlers	Thema	Die Erde unter den Sternen
Galileo Galilei	Grundfigur	„antiker Philosoph“
im Drama wird der Gang der Handlung beschrieben: Galilei beim Forschen, die Inquisition, die Ver- bannung	Handlung	Aus den vier Teilen: Die Erde (Weltkarte und Globus) Die Sterne (Sternbilder, Sternkarte) Die Sonne (Schattenlinie, Himmelsrichtungen) Der Mond (Mondphasen, Himmelsuhr) bauen wir das Modell der Himmels- kugel mit der Erde im Zentrum auf.
Regisseur, der das Stück inszeniert	Regisseur	Lehrer, der das Lehrstück inszeniert Ueli Aeschlimann
Ensemble des Theaters	Schauspieler	hier ist der Vergleich schwierig: An sich sind es die Schüler, aber es gibt keine festen Rollen und Texte.
Theaterbesucher	Zuschauer	Schüler und Schülerinnen bei der Reflexion des Lernprozesses
Emotionen und Nachdenken auslösen bei den Zuschauern	Ziel	Lernprozesse bei den Schülern, zB. - Sternbilder und ihre Bewegung am Himmel kennenlernen - den Aufbau einer Sternkarte verstehen - Erleben, wie ein Weltbild auf Beobachtungen aufgebaut wird - Einsehen, dass sich ein Weltbild wandeln kann
Hat es den Zuschauern gefallen? Wie fallen die Rezensionen aus?	Beurteilung	Hat es den Schülern gefallen? Was haben sie gelernt? Was sagen Kollegen und Fachleute zum Lehrstück?

4.3.4.2. Fünf Lehrstückmerkmale - im Himmelskundelehrstück

1. Zeitliche Beschränkung: Ein Lehrstück hat einen Umfang von 10 bis 20 Unterrichtsstunden.³²⁰ Die beschriebenen Inszenierungen bewegen sich in diesem Rahmen:

1. Goldern 1990: 10 Stunden für das Lehrstück
2. Langenbruck 1995: 17 Stunden für das Lehrstück, 3 Stunden individuelle Arbeit, 2 Stunden für Zusatz (griechische Tänze)
3. Prés d'Orvin 1996: 12 Stunden für das Lehrstück, 5 Stunden für individuelle Arbeit, 4 Stunden für Zusätze (Diavorträge zu Fernrohr und Planeten, geschichtlicher Überblick, Reflexion: Lehrkunst)
4. Golaten 1997: 12 Stunden für das Lehrstück, 3 Stunden individuelle Arbeit
5. Prés d'Orvin 1998: 13 Stunden für das Lehrstück, 4 Stunden individuelle Arbeit, 0,5 Stunden Zusatz (geschichtlicher Überblick)

2. In sich geschlossener Zusammenhang: Sonne, Mond und Sterne bewegen sich phänomenologisch betrachtet um die Erde herum - auch wenn die einzelnen Teile zunächst unabhängig voneinander stehen, sehen die Schüler und Schülerinnen immer den Zusammenhang. Mit dem Modell der Glaskugel werden die einzelnen Teile am Schluss zu einem ganzen Bild zusammengefügt. Das Zeichnen der Sternbilder auf die Glaskugel knüpft an die Beobachtung unter dem freien Himmel und an die Sternkarte an, die Bewegung der Sonne und der Sterne über dem Globus mit den Kontinenten und Meeren schafft den Bezug zur Weltkarte. Dadurch wird der geschlossene Zusammenhang für die Schüler und Schülerinnen transparent.

3. Selbständiger Charakter: Das Lehrstück muss am Anfang des Astronomieunterrichts stehen. Die Astronomie ist aber oft kein selbständiges Fach, sondern wird im Rahmen des Physik- und Geographieunterrichts erarbeitet, und dort ist das Lehrstück nicht an einen festen Platz gebunden. In unteren Klassen wird die Übersicht über die Erde mit der Weltkarte erarbeitet, in oberen Klassen, wo die Weltkarte bekannt ist, dient die Sequenz mit der Weltkarte zur Vertiefung. Das Lehrstück ist auch so gestaltet, dass die Fortsetzung des Astronomieunterrichts nicht festgelegt ist. Es zielt natürlich auf die kopernikanische Wende. Ob diese aber über die Planetenschleifen oder über Galileis „und sie bewegt sich doch“, obwohl wir nichts davon spüren, erarbeitet wird, ist offen. Die Selbständigkeit des Stücks zeigt auch die thematische Landkarte, die verschiedene Anschlussstellen aufzeigt. Man kann vom Lehrstück aus im Physikunterricht (zum Beispiel zur Gravitation und der Newtonschen Mechanik) oder im Geographieunterricht (zu Jahreszeiten und Klima) oder auch im Geschichtsunterricht (von der griechischen Hochkultur zum finsternen Mittelalter) weitergehen.

4. Konzept und bereichserschliessende Thematik: Ein Menschheitsthema ist die Astronomie ganz bestimmt: Schon frühe Kulturen haben sich damit beschäftigt und daraus den Kalender abgeleitet. In der Seefahrt waren die Sterne als Kompass unerlässlich. Und in der Literatur kann man immer wieder Texte finden, die die Faszination von Mond und Sternen beschreiben.

Ein wichtiges Element der Lehrkundsdidaktik ist das kollektive Lernereignis: In der Astronomie steht das Umdenken vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild als Musterbeispiel eines solchen Paradigmenwechsels. Dieses Thema tritt im

³²⁰ vgl Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie;S.361.

Lehrstück zwar nicht auf, aber das Lehrstück schafft die wichtige Basis - das gründliche Erarbeiten und Erleben des geozentrischen Weltbildes -, welche eine notwendige Voraussetzung dafür ist zu verstehen, wie schwierig das Umdenken den Menschen gefallen ist: Das neue Weltbild ist ein gedachtes, aber nicht erlebbares! Und: Es ist nicht irgend ein naturwissenschaftliches Thema, sondern es geht um unser Bild von der Welt! Kopernikanische Wende: Was soll denn gewendet werden, wenn man direkt mit unserer heutigen Vorstellung anfängt? Die Schwierigkeit liegt hier natürlich darin: Wenn wir im Lehrstück den geozentrischen Standpunkt einnehmen, wissen alle Schüler und Schülerinnen, dass es eigentlich nicht so ist, und dieses Wissen - in Form von Scheinwissen - legt sich uns immer wieder in den Weg. Wir können nicht einfach bei den Wurzeln anfangen, sondern müssen diese Wurzeln immer wieder sorgfältig ausgraben und schützen. In einem gewissen Sinne erleben wir damit das kollektive Lernereignis rückwärts: Welche Schwierigkeiten sind zu überwinden, um zu den elementaren Erklärungen, dem Beschreiben, so wie wir erleben, zurückzugehen.

5. Dramaturgische Gestaltung:

Das Lehrstück gliedert sich in sechs Akte:

1. bis 4. Akt: „Die Erde“, „Die Sterne“, „Die Sonne“, „Der Mond“

Diese vier Akte können in beliebiger Reihenfolge inszeniert werden. Diese Freiheit ist ganz wichtig, damit man in einer Astronomiewoche nicht darauf angewiesen ist, am ersten Abend die Sterne beobachten zu können. Das Wetter ist ein zentraler Faktor für die Inszenierung des Himmelskunde-Lehrstücks. Es kann natürlich vorkommen, dass das Wetter eine ganze Woche lang schlecht ist. Meine Erfahrung hat aber gezeigt, dass viel häufiger der Fall eintritt, dass das Wetter veränderlich ist und dass mindestens einmal eine Sternbeobachtung möglich ist. Dann muss man Geduld haben. Man kann mit der Erde beginnen. Man kann auch vor der Woche an einem sonnigen Tag eine Schattenlinie aufzeichnen und diese Zeichnung mitnehmen. Sie kann als Vergleich dienen, wenn während der Woche wieder eine Schattenlinie gezeichnet werden kann, oder sie kann als Ersatz dienen, wenn die Sonne nicht scheint. Und dann hat man vielleicht Glück, dass sich im Laufe der Woche die Sterne zeigen und man die Sternkarte erarbeiten kann. Sollte während der ganzen Woche der Himmel bedeckt sein, würde ich mich entschliessen, mit dem Akt „Die Sterne“ zuzuwarten, zu Hause eine Sternbeobachtung organisieren und das Lehrstück erst dann abschliessen.

Sollte die Astronomiewoche um den Neumond herum stattfinden, dann müsste der Akt „Der Mond“ vorher zuhause erarbeitet werden. Der Halbmond ist ja am Tag sehr schön zu sehen, so dass ohne Aufwand auch das Beobachten in der Schule möglich ist.

5. Akt: Die Erde inmitten von Sonne, Mond und Sternen

In diesem Akt werden die Erkenntnisse aus den ersten vier Akten verbunden zu einem Weltbild. Ein geozentrisches Weltbild, ohne die Schwierigkeiten der Planetenschleifen, aber ein Weltbild, das auf eigenen Beobachtungen und eigenem Nachdenken beruht, die Voraussetzung dafür, heutige Vorstellungen (heliocentrisches Weltbild, Sonne als Stern innerhalb der Milchstrasse, ..) verstehen zu können.

6. Akt: Von Kopernikus und Galilei zu Hubble

Auf unserer Bergtour haben wir nur die erste Stufe bestiegen. Bis zum Gipfel mit den Erkenntnissen der modernen Astronomie ist es noch ein weiter Weg. Ziel dieses letzten Aktes ist es, einen Ausblick auf die Entwicklung der Astronomie von

den Griechen bis heute zu geben, gewissermassen mit der Seilbahn auf den Gipfel zu fahren.³²¹ Dieser Akt wird als Diavortrag gestaltet.

Diese Gliederung und die Gestaltung des Lehrstücks entstanden nach langem Suchen. Ausgegangen sind wir (Ahrens, Berg, Aeschlimann) von Wagenscheins genetischen Ansatz. Wagenschein zielt aber auf die Erkenntnisse von Kopernikus. In seiner Darstellung kommt das Kennenlernen von Sternbildern, die Orientierung am Himmel mit der Sternkarte nicht vor. Die Erde erscheint nur als Kugel, auf die Geographie - die Kontinente, Länder und Meere - geht er nicht ein. Wir haben uns früh entschlossen, diesen grundlegenden Einsichten mehr Platz einzuräumen, mit dem Preis, auf Kopernikus zu verzichten. Dass wir in unserem Konzept am Anfang die Erde vergessen hatten, merkten wir erst später. Zudem hatte das Stück in der Inszenierung von Daniel Ahrens noch einen linearen Verlauf: Vom Schatten zur Himmelsuhr. Die oben beschriebene Form hat das Stück erst mit der Zeit erhalten. Aufgrund der Erfahrungen beim Inszenieren, der Reflexion dieser Inszenierungen und den Diskussionen in Seminaren und auf Tagungen hat sich das Lehrstück in seiner heutigen Darstellung herauskristallisiert. (vgl. 4.2.1.4. Die Entwicklungsgeschichte des Lehrstücks Himmelskunde).

³²¹ Aufgrund dieses Bildes hat Daniel Ahrens diesem letzten Akt in seinem Unterrichtsbericht den Titel „Der Lift“ gegeben (siehe Lehrkunst, S.88)

5. Lehrkunst im Unterricht - auch dank Wagenschein

5.1. Die Lehrstücke im Rahmen des Lehrplans

Die drei in dieser Arbeit dargestellten Lehrstücke stammen alle aus dem Bereich der Naturwissenschaften. Man kann grundsätzlich fragen: „Braucht die Schule überhaupt einen naturwissenschaftlichen Unterricht?“ Morris H. Shamos, ehemaliger Physikprofessor und Präsident der New Yorker Akademie der Naturwissenschaften zieht folgendes Fazit: 90% der Amerikaner und Amerikanerinnen haben von Naturwissenschaft keine Ahnung. Die Schüler und Schülerinnen vergessen das mühsam erarbeitete Wissen über Physik und Chemie sofort wieder, wenn sie die Schule beendet haben. Jürgen Oelkers, Pädagogikprofessor in Bern, sagt dazu: „Wenn man so weitermacht, sind die hohen Anstrengungen der Schule relativ vergeblich“ Er fordert deshalb, den naturwissenschaftlichen Unterricht zu verbessern, „...indem er vermehrt Vorgänge des alltäglichen Lebens durchsichtig macht. Das wäre vielversprechender als nur Formeln auswendig zu lernen.“³²² In einer technisch geprägten Welt gehören meiner Ansicht nach Kenntnisse aus der Naturwissenschaft zur Allgemeinbildung. Unseren komfortablen Lebensstil und auch viele Arbeitsplätze³²³ verdanken wir letztlich den Erkenntnissen der Naturwissenschaften. Im Unterricht geht es aber darum, die Naturwissenschaft als Teil der Allgemeinbildung zu sehen. Es geht nicht darum, Physiker und Chemiker auszubilden, die konkrete Probleme berechnen können, sondern es geht darum, an ausgewählten Themen zu zeigen, wie sich Physik und Chemie mit der Natur auseinandersetzen und welche Konsequenzen das für unser Leben und Denken hat. Dafür hat sich Wagenschein eingesetzt, und Hentig sagt zu recht: „Wir brauchen in Deutschlands Schulen nichts dringender als Wagenscheins Pädagogik.“³²⁴ Die Diskussion um eine Veränderung des von Stofffülle geprägten Physik- und Chemieunterrichts hin zu einem exemplarischen Unterricht, der „Vorgänge des täglichen Lebens durchsichtig macht“ (Oelkers, siehe oben), der durch die Verbindung zur Alltagswelt „einen emotionalen Bezug zum Lerngegenstand herstellt“ (Labudde³²⁵), hat zu Beginn unseres Jahrhunderts mit Kerschensteiner angefangen und ist auch heute immer noch aktuell. In neueren Lehrplänen findet man vermehrt die Orientierung an allgemeinen Bildungszielen. Im „Rahmenlehrplan für die Maturität“ liest man unter den allgemeinen Zielen: „Die Gymnasiasten und Gymnasiastinnen lernen, ...Hypothesen aufzustellen, sie zu entkräften oder zu verifizieren, ...Sie verfügen über die Fähigkeit, zu beobachten, zu experimentieren, zu abstrahieren...“³²⁶

Wo stehen die Lehrstücke in diesem Rahmen?

³²² Interview in der Zeitschrift „FACTS“, 23.4.99

³²³ „Das Mikroskop hat Zeiss berühmt gemacht, der Feldstecher ein Grossunternehmen begründet. Der Walkman tat das gleiche für Sony, die IC's für Hewlett Pacard, Es sind technische Ideen, die auf Dauer Arbeitsplätze schaffen.“ Reinhart Claus: Naturwissenschaften - nicht im Trend!; Editorial in der Zeitschrift „Sterne und Weltraum“, 5/99, S.419

³²⁴ Hartmut von Hentig: Laudatio auf Martin Wagenschein. In: M. Wagenschein: Die Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft, S.20

³²⁵ Peter Labudde: Selbständig lernen; In: Naturwissenschaften im Unterricht, Physik, Heft 37 (1997)

³²⁶ Rahmenlehrplan für die Maturitätsschulen, herausgegeben von der Schweizerischen Konferenz der kantonalen Erziehungsdirektoren, 1994, S.14

1) Alltagsbezug und emotionale Bindung:

Die Kerze als zentraler Gegenstand im Chemie-Lehrstück erfüllt diese Anforderung in hohem Masse. Auch wenn ihre Bedeutung heute weniger zentral ist als vor der Erfindung der Glühlampe, hat jeder von uns einen emotionalen Bezug zur Kerze. Schon als Kinder freuen wir uns über die Kerzen am Weihnachtsbaum oder auf der Geburtstagstorte. Als Symbol für die Lebensflamme und als Gegenpol des ungebändigten Feuers, vor dem wir alle grossen Respekt haben, hat die Kerze auf uns eine starke Wirkung.

Beim Himmelskunde-Lehrstück stehen Sonne, Mond und Sterne im Mittelpunkt. Von diesen Himmelskörpern gehen starke emotionale Wirkungen aus: Wir geniessen die wärmenden Sonnenstrahlen, der Mond - besonders der Vollmond - versetzt uns in eine romantische Stimmung, und die Sterne geben uns in der Nacht Geborgenheit. Auch hier erfüllt das Lehrstück also den Bezug zum Alltag und zu unseren Gefühlen in hohem Masse.

Beim Barometer-Lehrstück sind es vor allem der Anfang und der Schluss, die die Verbindung zum Alltag herstellen: Das Bierglas im Spülbecken und die Hoch- und Tiefdruckgebiete im Zusammenhang mit dem Wetter. Im Vergleich mit den beiden anderen Lehrstücken ist die emotionale Bindung hier aber deutlich schwächer.

2) Allgemeine Bildungsziele:

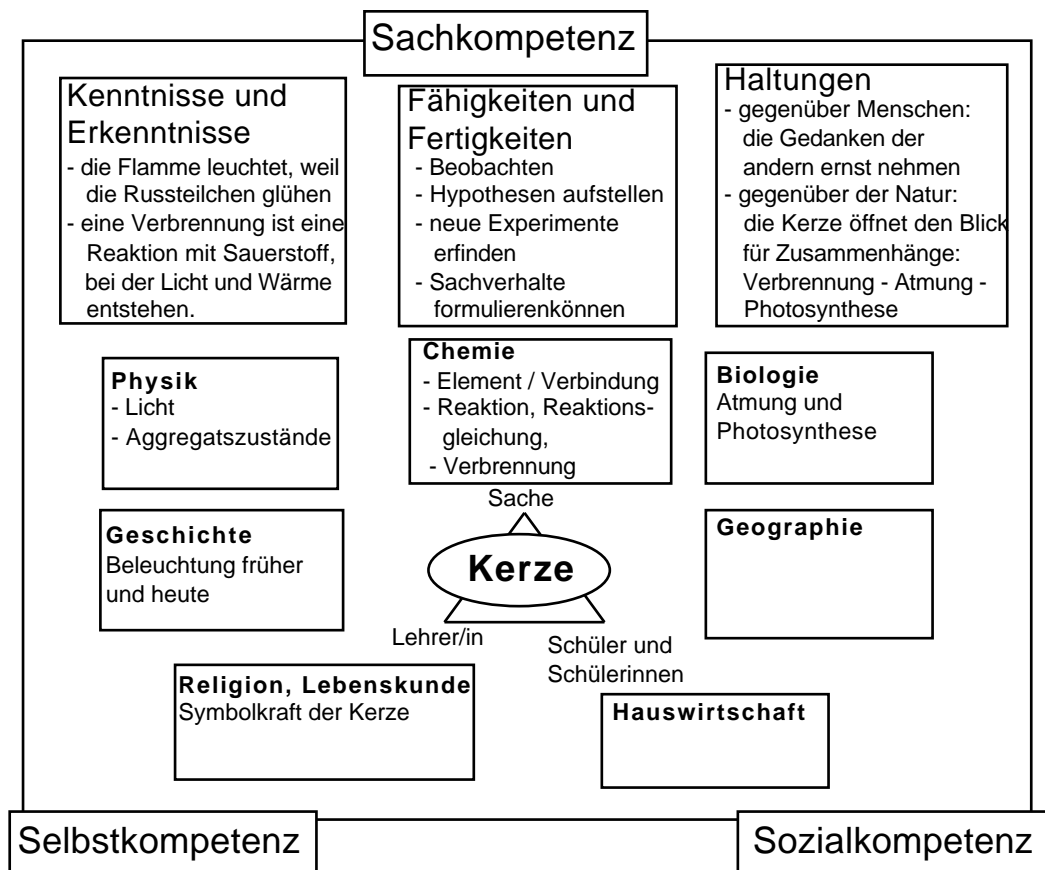
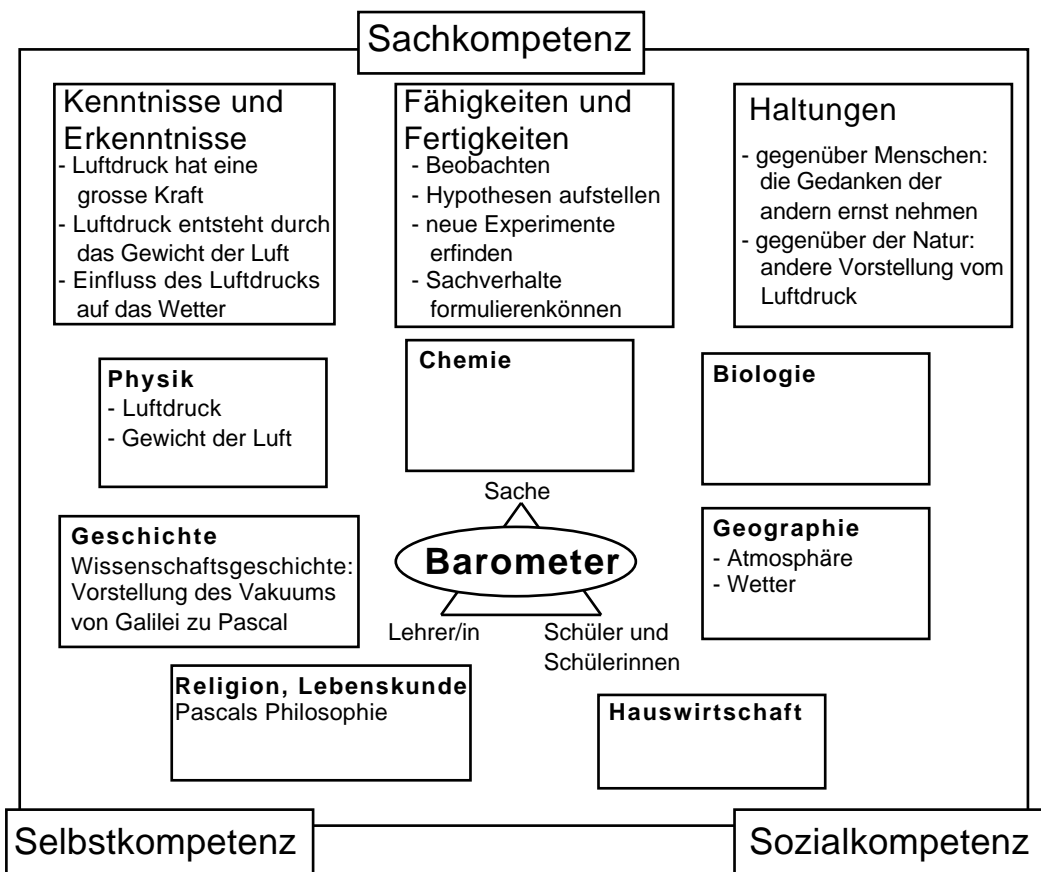
Die aus dem Rahmenlehrplan zitierten Ziele werden bei allen Lehrstücken in hohem Masse erreicht. Es geht in allen drei Lehrstücken nicht um die schnelle Vermittlung von Wissen, sondern um das Selber-Denken und Selber-Suchen im Sinne Lichtenbergs: „Was man sich selber erfinden muss, lässt im Verstand die Bahn zurück, die auch bei anderer Gelegenheit gebraucht werden kann.“³²⁷

Ich ziehe damit ein erstes Fazit: Die Lehrstücke erfüllen die Forderung nach Alltagsbezug. Sie sind in hohem Masse geeignet, allgemeine Bildungsziele zu realisieren.

Ich beziehe die Lehrstücke nun noch konkret auf den Lehrplan der Bernischen Volksschule³²⁸. Die Fächer Physik, Chemie, Biologie, Geographie, Geschichte, Religion/Lebenskunde und Hauswirtschaft werden zusammengefasst zum grossen Bereich NMM: Natur, Mensch, Mitwelt. Der Lehrplan formuliert nicht mehr Inhalte, sondern Themenfelder, die unter den drei Gesichtspunkten Kenntnisse, Fähigkeiten/Fertigkeiten und Haltungen unterrichtet werden sollen. Passen die Lehrstücke in diesen Rahmen? Ich habe dazu jedes Lehrstück in ein von mir erarbeitetes Schema eingezeichnet: Im Zentrum steht der Gegenstand, umgeben vom didaktischen Dreieck Sache - Lehrer/in - Schüler und Schülerinnen. Darum herum gruppieren sich die Fächer aus dem Bereich NMM. Ihnen übergeordnet sind die Leitziele: Kenntnisse/Erkenntnisse, Fähigkeiten/Fertigkeiten und Haltungen. Und alles ist eingebettet in die allgemeinen Ziele des Lehrplans: Sach- Sozial- und Selbstkompetenz.

³²⁷ zitiert nach Martin Wagenschein: Naturphänomene sehen und verstehen; S.71

³²⁸ Lehrplan Volksschule; herausgegeben von der Erziehungsdirektion des Kantons Bern, 1995





In allen drei Lehrstücken werden mehrere Fächer aus dem Bereich NMM angesprochen. Neben den erworbenen Kenntnissen werden auch in den Bereichen Fähigkeiten/Fertigkeiten und Haltungen grundlegende Themen angesprochen werden. Ich kann deshalb ein zweites Fazit ziehen: Die Lehrstücke sind sehr gut geeignet, die Anforderungen des Lehrplans im Bereich NMM zu erfüllen.³²⁹

5.2. Rückmeldungen von Schülern und Schülerinnen

In diesem Kapitel fasse ich die Rückmeldungen einer Klasse zusammen, die alle in dieser Arbeit besprochenen Lehrstücke erlebt hat. Es handelt sich um eine Klasse der seminaristischen Lehrerausbildung. Die Schüler und Schülerinnen kamen nach ihrer obligatorischen Schulzeit von 9 Jahren an das Lehrerseminar. Die Klasse umfasste 8 Schüler und 12 Schülerinnen. Zu Beginn ihrer Ausbildung habe ich im August / September 94 als Einstieg in den Chemieunterricht das Lehrstück „Faradays Kerze“ inszeniert. Die Schüler und Schülerinnen verfügten über sehr unterschiedliche Grundkenntnisse in Chemie. Bei vielen bestand das Vorurteil, dass Chemie ein sehr schwieriges Fach sei, bei dem Stoffe mit komplizierten Formeln sich in gefährlichen Reaktionen auf unverständliche Weise in neue Stoffe verwandeln. Die Kerze vermittelt hier ein ganz anderes Bild der Chemie: Man geht

³²⁹Allgemeiner formuliert: Die Lehrstücke sind geeignet für fächerübergreifenden Unterricht.

von einem bekannten Phänomen - der Verbrennung eine Kerze - aus, entdeckt Fragen und findet Schritt für Schritt Antworten - und neue Fragen. In Kapitel 3.2.3 ist der Verlauf des Unterrichts mit dieser Klasse schematisch dargestellt. Auf der Metaebene habe ich bei diesem Lehrstück die Didaktik Martin Wagenscheins dargestellt: Genetisch - sokratisch - exemplarisch.

Im Mai / Juni 95 habe ich im Rahmen des Physikunterrichts das Lehrstück „Pascals Barometer“ mit der Klasse inszeniert. Der ausführliche Unterrichtsbericht ist im Kapitel 2.2 zu finden. Auf der Metaebene habe ich hier wieder das sokratische Gespräch, dann aber auch die Bedeutung der historischen Komponente diskutiert. Im Juni 96 habe ich in einer Intensivwoche in Prés d'Orvin das Lehrstück „Himmelskunde“ inszeniert. Den Verlauf dieser Studienwoche habe ich im Kapitel 4.2.3.3. beschrieben. Auf der Metaebene habe ich versucht, einen Überblick über die Lehrkunst-Didaktik (Exemplarisch: Genetisch-dramaturgisch, Lehrstück-Merkmale) zu geben.

1.Jahr: 8.94-7.95	2.Jahr: 8.95-7.96	3.Jahr: 8.96-7.97	4.Jahr: 8.97-7.98	5.Jahr: 8.98-7.99
Kerze, 6 Wochen: Ouverture, 1. und 2. Akt	Barometer, 7 Wochen	Himmelskunde Studienwoche in Prés d'Orvin Kerze, 2 Wochen: 3. und 4. Akt	Rückmeldungen schreiben Chemisches Gleichgewicht 5 Wochen	Fachdidaktik: Lehrkunst und Lehrplan
fachliche Ausbildung, entspricht einer gymnasialen Ausbildung 10.-13. Klasse			spezifische Lehrer- ausbildung (Didaktik, Pädagogik, Praktika)	

Im August / September 97 habe ich das Lehrstück „Chemisches Gleichgewicht“ inszeniert. Es bildete gleichzeitig den Abschluss meines Fachunterrichts (Chemie und Physik) in dieser Klasse. Im Anschluss an dieses Lehrstück habe ich die Schüler und Schülerinnen gebeten, eine ausführliche Rückmeldung auf „Lehrkunst im Unterricht“ zu schreiben. Ich habe die Schüler und Schülerinnen gebeten, zu jedem Lehrstück Stellung zu nehmen (Was hat Dir gefallen? Was hat Dich nicht angesprochen? Was weißt Du noch vom Inhalt der Lehrstücke? Welche Situationen sind Dir noch besonders in Erinnerung?) und sich dann allgemein zur Lehrkunst zu äussern, insbesondere zu den sokratischen Gesprächen, zu den Hefteinträgen und zu den didaktischen Reflexionen innerhalb des Fachunterrichts. Von 16 der 20 Schüler und Schülerinnen habe ich ausführliche Rückmeldungen erhalten. Dass die Schüler und Schülerinnen diese Rückmeldungen ernst genommen haben, zeigt die Bemerkung von Teresa: „Susanne und ich haben uns für diesen Rückblick in den Ferien zusammengesetzt. Wir haben zum Teil ähnliche

Diskussionen gehabt wie im Unterricht. Wir haben eine Kerze angezündet und über sie diskutiert, wie einst damals.“

Im November 99 schliesslich habe ich im Rahmen der Fachdidaktik in dieser Klasse die Lehrstücke zusammengefasst und mit Dias aus dem Unterricht in Erinnerung gerufen und dann in den fachdidaktischen Rahmen gestellt.

1. Barometer

Ich zitiere hier drei Rückmeldungen zu diesem Lehrstück, um einen Einblick zu geben, wie die Texte der Schüler und Schülerinnen aussehen. Man beachte: Diese Texte wurden zweieinhalb Jahre nach dem Unterricht verfasst. Ich habe die Schüler und Schülerinnen gebeten, die Texte aus der Erinnerung zu schreiben, ohne im Heft nachzublättern.

Annie: Unter Wasser füllten wir ein Bierglas mit Wasser. Wir heben das Bierglas in der Schüssel leicht an. Das Wasser bleibt im Glas, weil der Luftdruck auf den Wasserspiegel in der Schüssel drückt, nicht aber auf den Wasserspiegel im Bierglas. Der gleiche Versuch mit einem langen Schlauch im Treppenhaus zeigte uns, dass das Wasser im Schlauch durch den Luftdruck auf den Wasserspiegel im Becken bis auf 10 m anstieg. Die Dichte von Quecksilber ist grösser als die des Wassers (ca. 13 mal), deshalb steigt das Quecksilber auch 13 mal weniger hoch. Luft hat ein bestimmtes Gewicht; wir stellten eine luftgefüllte Flasche und eine luftleere Flasche auf die Waage. Weil wir Menschen in der Lunge denselben Druck haben, der draussen herrscht, spüren wir das Gewicht der Luft nicht. Auch im Wasser herrscht ein Druck, je tiefer desto stärker. Dasselbe gilt auch beim Luftdruck, er nimmt mit der Höhe ab. In einem Experiment stellten wir einen Glasring, bespannt mit einer Cellophanfolie über die Vakuumpumpe. Bei Heraussaugen der Luft platzte die Folie, da der Druck von aussen grösser wurde als jener im Glasring. Wir stellten einen Schokoladekopf unter eine Glasglocke und saugten die Luft aus der Glocke. Durch den nachlassenden Druck um den Schokoladekopf herum begann dieser sich auszudehnen. In einem weiteren Experiment legten wir zwei Kugelhälften aufeinander. Wir saugten durch ein Ventil die Luft aus der Kugel, was zur Folge hatte, dass man die zwei Hälften nicht mehr auseinander brachte. In der Wetterkunde behandelten wir die Hoch- und Tiefdruckgebiete. Warme Luft wird durch die Ausdehnung leichter und steigt auf. Warme Luft hat die Tendenz, Wasser aufzunehmen und irgendeinmal ist sie gesättigt und es kommt zu Regenfällen.

Kathrin: Der Anfang ist mir am besten in Erinnerung geblieben: Der Versuch mit dem Bierglas, welches wir mit Wasser füllten und dann rückwärts aus dem Becken herauszogen. Was uns zwar alltäglich erschien, konnten wir allerdings nicht gleich erklären: Das Wasser blieb im Glas. Diesen Versuch erklärten wir mit der Kraft des Luftdrucks auf die Wasseroberfläche. Unser Parade-Experiment mit dem Schlauch im Treppenhaus ist wohl noch allen in Erinnerung geblieben. Das Wasser blieb bei 10 m stehen und oberhalb entstand ein Vakuum. Wir behandelten auch die Fragen, warum wir den Luftdruck nicht spüren und weshalb es ihn überhaupt gibt. Spüren können wir ihn nicht, weil unsere Lunge auch mit Luft gefüllt ist und somit ein Druckausgleich entsteht. Und der Luftdruck entsteht, da die Luft wie fast alles ein Gewicht hat. Auch an die andern Experimente mit dem Schokoladekopf im Vakuum und der Metallkugel, aus welcher wir die Luft entfernten, kann ich mich noch gut erinnern.

David: Die vielen anschaulichen und sehr interessanten Experimente haben mich immer wieder ins Staunen versetzt. Zum Beispiel der Versuch mit dem Bierglas. Das Wasser fließt nicht aus dem Glas, da der Luftdruck mit einer ausreichenden Kraft auf den Wasserspiegel drückt. Oder der Versuch mit dem langen Schlauch. Dieser hat uns gezeigt, dass der Luftdruck eine rund 10 m hohe Wassersäule zu halten vermag. Oder auch die Vakuum-Versuche (Ballon, Schokoladekopf, Metallhalbkugeln) und die beiden Barometerarten (mit Quecksilbersäule / mit einer Membran) sind mir noch vertraut.

Ich habe versucht, in den teilweise sehr unterschiedlich formulierten Texten zu schauen, ob zentrale Inhalte erwähnt werden:

1.Akt: Vom Bierglas zum Barometer

Der Einstieg mit dem Bierglas ist fast allen Schülern und Schülerinnen in Erinnerung. Fast alle erwähnen auch, dass wir über das Vakuum und den Luftdruck diskutiert haben. Christine schreibt: „Das Vakuum war ein Thema, das uns nicht losgelassen hat. Gibt es in der Natur ein Vakuum oder nicht?“ Bei allen ist das Experiment mit dem langen Schlauch im Treppenhaus in lebhafter Erinnerung.

2.Akt: Vom Luftdruck zur Barometerformel

Die Hälfte der Schüler und Schülerinnen erinnert sich, dass wir das Gewicht der Luft bestimmt haben, ein Drittel erwähnt, dass der Luftdruck mit der Höhe abnimmt. Nur ein einziges Mal wird dagegen Pascals Versuch auf dem Puy de Dôme erwähnt.

3.Akt: Die Demonstration des Luftdrucks

Die Magdeburger Halbkugeln und der Schokoladekopf unter der Vakuumglocke werden immer wieder erwähnt.

4.Akt: Luftdruck und Wetter

Nur ein Drittel der Schüler und Schülerinnen schreiben etwas über das Wetter. Möglicherweise hat der Wechsel der Unterrichtsform (eigenständige Arbeit in Gruppen mit Büchern gegenüber dem sokratischen Gespräch) dazu geführt, dass viele Schüler das Thema Wetter nicht mit dem Lehrstück in Verbindung bringen.

Etwas enttäuscht bin ich, dass das kollektive Lernereignis - das Umdenken vom horror vacui zum Luftdruck (Pascal) - nicht besser wahrgenommen wurde. Sam beschreibt, was ich damit meine: „Um die physikalischen Gesetze verstehen zu können, mussten die grossen Denker jener Epochen sich Zeit nehmen und die Phänomene genau beobachten...Heutzutage werden uns diese Erkenntnisse als Selbstverständlichkeit weitergegeben und wir akzeptieren sie ohne grosses Hinterfragen.“ In diesem Sinn muss Pascal in künftigen Inszenierungen lebendiger werden, muss auch die Frage „Was ist ein Vakuum? Gibt es so etwas in der Natur?“ ausführlicher thematisiert werden, muss der Unterschied zwischen „luftleerem Raum“ und „Vakuum“ und auch Pascals Unterscheidung zwischen „le vide“ und „le néant“ diskutiert werden.

2. Faradays Kerze

Ouvertüre: Fast alle Schüler und Schülerinnen erinnern sich an den Anfang: Das Zeichnen der Kerzenflamme aus der Erinnerung.

1.Akt: Die Schüler und Schülerinnen wissen, dass der Wachsdampf brennt. Auch die Funktion des Dochts wird in vielen Texten beschrieben. Das eindrückliche Experiment des Flammensprungs hingegen wird nur vereinzelt erwähnt. Möglicherweise haben sich die Schüler und Schülerinnen beim Schreiben der Rückmeldungen zu sehr darauf konzentriert: Was weiss ich inhaltlich noch?, und deshalb haben sie nicht einzelne Erinnerungen und Bilder beschrieben.

2.Akt: Mehrfach wird erwähnt, dass der glühende Russ für die leuchtende Farbe der Flamme verantwortlich ist. Die Rolle des Sauerstoffs bei der Verbrennung wird kaum erwähnt, wahrscheinlich ist das zu selbstverständlich. Es fehlt auch die Bedeutung des Luftzuges (ruhige Flamme, Form der Flamme, Kühlung des Randes). Es scheint, dass ich diesem Aspekt im Unterricht zu wenig Gewicht gegeben habe.

3. und 4.Akt: Die Inhalte dieser Akte werden kaum erwähnt. Diese Akte wurden im Unterricht von den übrigen Akten getrennt, und es scheint, dass ich den Zusammenhang und den dramaturgischen Aufbau des Lehrstücks zu wenig deutlich gemacht habe. Für viele Schüler und Schülerinnen dieser Klasse umfasst das Lehrstück nur denjenigen Teil (Ouvertüre und 1. und 2.Akt), den ich zu Beginn des Chemieunterrichts inszeniert habe.

3. Himmelskunde

1.Akt: Die Erde

Die Erarbeitung der Weltkarte mit Büchern wird nur selten erwähnt, dagegen erinnern sich viele Schüler und Schülerinnen, dass wir über die Kugelgestalt der Erde diskutiert haben.

2.Akt: Die Sonne

Viele Schüler und Schülerinnen erinnern sich an das Aufzeichnen der Schattenlinie. Die damit verbundene Begriffe Zeit und Zeitzonen werden dagegen nur sporadisch erwähnt.

3. Akt: Die Sterne

Viele Schüler und Schülerinnen haben das Beobachten in der Nacht in sehr positiver Erinnerung. In der Hälfte aller Rückmeldungen wird auch die Sternkarte erwähnt. Hier hätte ich mir allerdings etwas ausführlichere Formulierungen gewünscht.

4. Akt: Der Mond

Die meisten Schüler und Schülerinnen erinnern sich, dass wir die Entstehung der Mondphasen studiert haben. Einige Schüler und Schülerinnen erinnern sich auch, dass der Mond täglich eine grosse Verspätung gegenüber Sonne und Sternen hat.

5.Akt: Die Erde inmitten von Sonne, Mond und Sternen

Dieser Teil erscheint zu meiner Enttäuschung fast gar nicht in den Rückmeldungen. Nur Simone schreibt: „Am Schluss haben wir auf eine Glaskugel Sternbilder eingezeichnet. Wir stellten uns vor, die Glaskugel sei unser Himmel.“ Natürlich ist es einfacher, sich an die Beobachtung in der dunklen Nacht oder an das Aufzeichnen der Schattenlinie mit der überraschenden Beobachtung, dass der kürzeste Schatten um halb zwei entsteht, zu erinnern. Wenn das Modell mit der Glaskugel aber

eine bündige Zusammenfassung der Einzelteile darstellt und damit ein tieferes Verständnis der Bewegungen am Himmel ermöglicht, dann müsste das auch in den Rückmeldungen deutlich werden. Es scheint, dass meine Erwartungen an diesen Akt bei dieser Klasse nicht realisiert wurden.

6. Akt Ausblick

Der Diavortrag wird in vielen Rückmeldungen positiv erwähnt. z.B. Manuela: „Noch heute denke ich manchmal an den fantastischen Diavortrag. Du hast uns auf eindrückliche Weise die Wende vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild dargestellt.“

Annie schreibt: „Mir fehlte manchmal der Überblick. Da behandelten wir Sterne, dann Bücher aus aller Welt, dann Gradnetz, dann wieder Sterne. Ich war mir von den andern Lehrstücken einen genaueren Aufbau und Ablauf gewöhnt.“ Diese Rückmeldung zeigt, wie wichtig es ist, zu Beginn dieses Lehrstücks die komplexe Struktur (vier unabhängige Akte, die im fünften Akt zusammengefasst werden, und ein Ausblick im sechsten Akt) deutlich zu machen. Die Situation war in dieser Klasse besonders schwierig, da ich am Anfang wegen des schlechten Wetters warten und Zusatzteile (Aufbau des Fernrohrs, Planeten, siehe Kapitel 4.2.3.3) einschieben musste und die kurze Chance des guten Wetters die Stern- und Schattenbeobachtungen dann vermischte. Zudem verfügte ich damals noch nicht über die Zeichnung, welche den Aufbau sichtbar macht und in Zukunft die Kurse begleiten wird.

Soweit die Auswertung zu den fachlichen Kenntnissen. Es gilt zu beachten, dass diese Rückmeldungen nicht direkt nach dem Unterricht, sondern eineinhalb Jahre (Himmelskunde), zweieinhalb Jahre (Barometer) oder drei Jahre (Kerze) später aus der Erinnerung, ohne Nachlesen im Heft, geschrieben wurden. Ich habe auch nicht verlangt, dass einzelne Themen ausführlich dargestellt werden. Es ging mir vor allem darum: An welche Teile erinnern sich die Schüler gut, welche anderen Teile wurden vergessen. Insgesamt bin ich zufrieden, auch wenn ich an einzelnen Stellen mehr erwartet hätte. Als Fazit halte ich fest, dass ich noch stärker als bis bisher nach Abschluss des Lehrstücks im Rückblick die Struktur deutlicher machen muss. Dazu können auch die in dieser Arbeit vorgelegten Darstellungen in Bildern (Barometer: Seite 61, Kerze Seite 120 und Himmelskunde Seite 147) beitragen.

Interessant sind die Rückmeldungen in Bezug auf die Didaktik:

1. Das sokratische Gespräch

Das sokratische Gespräch ist für die Schüler und Schülerinnen eine ungewohnte, neue Unterrichtsform. Üblich ist, dass der Lehrer erklärt oder dass er ein fragend-erarbeitendes Gespräch führt, in dem er klar den Weg vorgibt und oft Fragen stellt, die mehr an das Wissen der Schüler appellieren als zum Denken anregen. Im sokratischen Gespräch nun sitzen die Schüler und Schülerinnen ratlos vor einem Phänomen. Sie müssen nichts wissen, aber sie müssen denken, suchen, und sie erhalten vom Lehrer nur wenig Hilfe. Silvia und Christine haben das folgendermaßen erlebt:

Silvia: „Anfangs war es langweilig und mühsam. Ich fand es auch sehr anstrengend, weil man immer mitdenken und konzentriert sein musste. Dass einem der Lehrer nicht alles vorsagte, war ich nicht gewohnt.“

Christine: „Wir mussten uns daran gewöhnen, zusammen über etwas zu diskutieren, sich anzustrengen und selber Ideen zu bringen. Während des Gesprächs entstanden dann jeweils auch längere Pausen, in denen niemand etwas sagte und die am Anfang etwas befremdend auf uns wirkten.“

Es ist deshalb sehr wichtig, auf der Metaebene über diese Gespräche zu diskutieren, über die Rolle des Lehrers und der Lernenden, über die Ziele. Auf diese Weise wird eine Gesprächskultur aufgebaut. Ein sokratisches Gespräch setzt Vertrauen voraus. Rachel: „Wir wurden aufgefordert, uns aktiv zu beteiligen, wir wurden nicht abgefragt.“ Nachdem die ersten Schwierigkeiten überwunden waren, wurden die Gespräche intensiver und interessanter. Kathrin: „Sehr beeindruckt hat mich, dass wir soviel selber herausfinden konnten.“ Samuel: „Was mir am meisten gefällt, ist das Analysieren à la Sherlock Holmes.“³³⁰ Das Ziel dieser Gespräche hat Annie schön beschrieben: „Durch sokratische Gespräche wird ein Gebiet viel intensiver behandelt, da man aktiv dabei ist und sich über längere Zeit hinweg mit ein und demselben Thema beschäftigt. Ich konnte von diesen sokratischen Gesprächen viel mehr in Erinnerung behalten.“

2. Das persönliche Heft

Es ist mir wichtig, dass die Schüler und Schülerinnen die gewonnenen Erkenntnisse und die wichtigsten Stationen auf dem Weg dazu in eigenen Worten in ihren Heften festhalten. Diese persönlichen Hefteinträge, für die ich auch Unterrichtszeit zur Verfügung stelle, fanden in den Rückmeldungen eine sehr gute Resonanz. Drei Beispiele:

Simone: „Was ich besonders schätzte, waren die Lektionen, in denen wir Zeit hatten für unsere Hefteinträge. Man konnte den Stoff in kleinen Gruppen nochmals durchgehen und wenn es ernsthafte Stolpersteine gab, konnte man jederzeit fragen.“

Christoph: „Der persönliche Hefteintrag hat mich noch einmal dazu gebracht, das Erlebte zu überdenken und in einer verständlichen Form aufzuschreiben.“

Brigit: „Ich finde es gut, dass jeder den Hefteintrag selber gestaltet und so das Erlernte und Erlebte noch einmal rekapituliert. Das, was einen besonders erstaunt oder verwundert hat, kann man ausführlicher festhalten, und das Heft wird so persönlicher.“

Leider werden heute, um Zeit zu sparen, viel zu oft Kopien verteilt. Dabei wird vergessen, welch wertvolle Lernprozesse verloren gehen, wenn die Schüler und Schülerinnen das Gelernte nicht selber formulieren müssen, und zwar Lernprozesse sowohl in Bezug auf die fachlichen Kenntnisse als auch in Bezug auf das Formulieren. Manuela schreibt dazu: „Meine Hefteinträge haben sich in den drei Jahren gewandelt, ich fand neue Möglichkeiten, um Dinge festzuhalten. Diese Selbständigkeit musste ich richtiggehend lernen.“

3. Die Reflexion auf der Metaebene

Vier Lehrstücke hat die Klasse bei mir erlebt. Und jedesmal habe ich auch versucht, transparent zu machen, was Lehrkunst ist. Wie schwierig und doch wichtig das ist, zeigt die Rückmeldung von Christine: „Lange habe ich gar nicht gemerkt, was alles für Überlegungen hinter diesem Unterricht stecken. Erst in der Himmelskunde-woche wurde mir bewusst, was Lehrkunst ist und was wir als Klasse in dieser

³³⁰ Der Vergleich ist interessant: Am Anfang steht man vor dem rätselhaften Phänomen genau so wie vor dem ungelösten Kriminalfall. Und wenn Holmes den Fall gelöst hat, scheint alles einfach, logisch, für jedermann sichtbar, genauso, wenn man am Schluss auf die Kerzenflamme oder das Bierglas zurückblickt. Der Unterschied besteht darin, dass nicht der Lehrer, als Sherlock Holmes, das Rätsel löst, sondern die Schüler und Schülerinnen selber.

Hinsicht schon alles erlebt hatten. Mit jedem neuen Lehrstück gefiel es mir ein wenig besser, weil ich auch immer mehr den Hintergrund dieses Unterrichts erkannte.“

Fazit

Aus den Rückmeldungen schliesse ich, dass die Lehrstücke bei den Schülern und Schülerinnen gut angekommen sind. Es bleibt mehr in der Erinnerung als vom klassischen Unterricht - man setzt ja für diese Themen auch mehr Zeit ein, um gründlich zu arbeiten - aber diese Pfeiler tragen dann auch den übrigen Unterricht. Erfreulich ist, dass inzwischen auch zwei Kollegen am Lehrerseminar Lehrstücke unterrichten: Ruedi Bucher (Geschichten erzählen) und Heinz Hubacher (Das Berner Münster). Die Schüler und Schülerinnen sehen dadurch, dass Lehrkunst in der aktuellen Didaktik einen festen Platz hat.

6. Welche Erkenntnisse zur Lehrkunst lassen sich aus der vorliegenden Arbeit gewinnen?

In diesem Kapitel versuche ich, Bilanz zu ziehen: Was hat die Interpretation der Lehrstücke Barometer, Kerze und Himmelskunde zur Klärung und Entwicklung der Lehrkunst beigetragen?

Wagenscheins Didaktik wird mit den Begriffen „Genetisch-sokratisch-exemplarisch“ zusammengefasst. Martin Wagenschein schreibt: „Das Genetische gehört zur Grundstimmung des Pädagogischen überhaupt. Pädagogik hat mit dem Werden zu tun: mit dem werdenden Menschen und - im Unterricht, in der Didaktik - mit dem Werden des Wissens in ihm. Die sokratische Methode gehört dazu, weil das Werden, das Erwachen geistiger Kräfte, sich am wirksamsten im Gespräch vollzieht. Das exemplarische Prinzip gehört dazu, weil ein genetisch-sokratisches Verfahren sich auf exemplarische Themenkreise beschränken muss und auch kann.“³³¹

Die Lehrkunst-Didaktik wird mit „Exemplarisch: genetisch-dramaturgisch“ beschrieben. Eine entsprechende, bündige Zusammenfassung wie oben fehlt für die Lehrkunst-Didaktik. Ich werde am Schluss dieses Kapitels einen Vorschlag formulieren. Im Zusammenhang mit den erwähnten Begriffen stellen sich folgende Fragen:

1. Ist mit „Exemplarisch“ bei Wagenschein und bei Berg/Schulze das Gleiche gemeint? Wo gibt es Unterschiede?
2. Ist mit „Genetisch“ bei Wagenschein und bei Berg/Schulze das Gleiche gemeint? Wo gibt es Unterschiede?
3. Wo kommt das „Dramaturgische“ her? und
4. Wo ist das „Sokratische“ geblieben?
5. Warum ist die Reihenfolge der Begriffe nicht die gleiche?

6.1. Exemplarisch

a) Zur Auswahl der Themen

Exemplarisch heisst bei Wagenschein: ein fachlich wichtiges Thema, an dem auch viele allgemeine (kategoriale) Einsichten gewonnen werden können.

Exemplarisch heisst bei Berg/Schulze: ein Thema, mit dem sich die Menschen immer wieder befasst haben, ein Ort, an dem ein Umdenken stattgefunden hat, wo eine neue Sichtweise entstanden ist: die Verbrennung als Oxidation (Lavoisier), oder die chemische Reaktion als dynamisches Gleichgewicht (Berthollet). Thomas Kuhn bezeichnet solche grundlegenden Änderungen von Sichtweisen als Paradigmenwechsel.³³²

Am Beispiel Barometer: Wagenschein und Berg/Schulze wären sich einig, dass man an diesem Thema wichtige allgemeine Einsichten gewinnen kann, zum Beispiel: Wie arbeitet ein Physiker? Was heisst: Die Physik erfasst nur einen Aspekt?

Wagenschein könnte weiter argumentieren: Der Luftdruck ist ein wichtiges Phänomen³³³. Es geht darum, zu zeigen, wie er wirkt, woher er kommt.

Berg/Schulze würden das Exemplarische des Barometer-Lehrstücks so formulieren: Es geht um die Auseinandersetzung mit dem Vakuum: Was ist ein Vakuum?

³³¹ Martin Wagenschein: Verstehen lehren; S.75

³³² Thomas Kuhn: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen

³³³ Im Protokoll des Seminars in Darmstadt heisst es zum Versuch mit dem Bierglas: „Dass man eine Erklärung findet, die gar nicht in dem bisschen Wasser da steckt, sondern, wenn man ein bisschen phantastisch sich ausdrückt, die ganze Welt umspannt, dann ist das schon ein lohnendes Thema.“

Und wie überwand Pascal den horror vacui? Die Auseinandersetzung mit der Vorstellung eines leeren Raumes hat „die Menschen anhaltend und immer wieder neu beschäftigt“³³⁴. Der Luftdruck dagegen beschäftigt vor allem diejenigen Leute, die sich für Physik oder Meteorologie interessieren.

Bei vielen Lehrstücken war am Anfang die hinter dem fachlichen Thema stehende, philosophische Dimension noch nicht deutlich im Blick. Es gab das fachliche Thema, an sich interessant genug, dass es sich lohnte, sich damit zu beschäftigen. Und erst in der Auseinandersetzung mit dem Thema, beim Suchen nach Spuren (nach historischen Quellen, nach einer Grundfigur zur Gestaltung des Lehrstücks, nach Anschlussstellen in der thematischen Landkarte) wurde die philosophische Dimension des Lehrstücks immer deutlicher. Beim Lehrstück „Chemisches Gleichgewicht“ ging es zuerst einmal um die neue Vorstellung chemischer Reaktionen: Nicht die Verwandtschaft von Elementen, sondern die äusseren Bedingungen steuern die chemische Reaktion. Erst mit der Zeit gewann die grundlegende Auseinandersetzung mit dem Begriff „Gleichgewicht“, nicht nur in der Chemie, mehr Gewicht.

Folgerung:

In der Zielrichtung des Exemplarischen sind sich Wagenschein und Berg/Schulze einig: Es muss ein fachlich bedeutsames Thema sein, an dem auch wichtige allgemeine Einsichten gewonnen werden können. In einem Bild dargestellt: Es wird ein namhafter Berg bestiegen, ein Berg, der es lohnt, dass man ihn kennenlernt, der auch den Blick auf umliegende Berge eröffnet und an dem man wichtige Kenntnisse des Kletterns erlernt. Die Anforderungen an die Auswahl des Bergs scheinen mir in der Lehrkunst allerdings noch strenger zu sein als bei Wagenschein, gewissermassen ein Berg, von dessen Besteigung man immer wieder träumt, ein Berg, dessen Erstbesteigung grosses Echo auslöste.

b) Didaktik in Theorie und Praxis

Wagenschein hat seine Didaktik aus seinen Unterrichtserfahrungen an der Odenwaldschule entwickelt. In seinen Seminaren gingen den didaktischen Reflexionen immer konkrete Unterrichtssequenzen voraus. Hans Christoph Berg schreibt dazu: „Erwartet hatte ich in Wagenscheins Seminaren klärende Gespräche über seine Konzeption des Genetisch-Sokratisch-Exemplarischen Lehrens. Erlebt habe ich statt dessen immer wieder Physik- und Mathematikunterricht.“³³⁵ In Wagenscheins Schriften steht dann allerdings die Theorie auf eigenen Füßen, und sie geht den Unterrichtseinheiten voraus, zum Beispiel in: „Natur physikalisch gesehen“³³⁶: Zuerst formuliert Wagenschein auf 26 Seiten die Theorie, dann beschreibt er auf 34 Seiten drei Lehrgänge: „Das Fallgesetz im Brunnenstrahl“, „Der Mond und seine Bewegung“, „In Wasser Flamme“. Das Exemplarische erscheint bei Wagenschein (siehe Zitat am Anfang dieses Kapitels) als notwendige Folge des Genetisch-Sokratischen³³⁷. Die Unterrichtseinheiten stehen als Beispiele, als kraftvolle Beispiele allerdings, denn Wagenschein ohne seine Beispiele ist nicht der ganze Wagenschein.

³³⁴ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S.386

³³⁵ Hans Christoph Berg: Lehrkunst im Traditionsstrom. In: Berg: Suchlinien, S.23

³³⁶ Martin Wagenschein: Natur physikalisch gesehen (1953);

³³⁷ Das war ursprünglich anders: „Die Dreiheit genetisch-sokratisch-exemplarisch habe ich, im weiteren Sinne als *Genetisch* bezeichnet. In früheren Veröffentlichungen nannte ich sie wohl auch *exemplarisch*.“ Martin Wagenschein: Verstehen lehren; S.97. In einer Fussnote dazu schreibt Wagenschein, „dass exemplarischer Unterricht im wirksamsten Verstande immer genetisch und sokratisch vorgehen muss.“ Die drei Begriffe bedingen einander also wechselseitig.

In der Lehrkunst stehen die Lehrstücke mehr im Zentrum. Berg setzte bei den Unterrichtseinheiten an: „Die entscheidende Wende des Blicks setzte ein, als wir Anfang der achtziger Jahre anfangen, in Seminaren nicht nur Wagenschein zu lesen und zu diskutieren, sondern das, was er vorschlug, selber auszuprobieren. ... Ein Entdeckungs- und Erfindungsprozess wurde angestoßen, der uns immer weiter zu neuen Einsichten und Ansichten führte.“³³⁸ Diese konkreten Unterrichtsinszenierungen waren die Quelle der Theorie der Lehrkustdidaktik, und die Theorie ihrerseits befruchtete die Entwicklung der Lehrstücke. Die Inszenierung der Lehrstücke - nicht nur die Planung, sondern der reale Unterricht, dargestellt in einem schriftlichen Bericht - ist damit ein notwendiger Teil des Lehrkunst-Konzepts. In der Realisierung der Lehrstücke zeigt sich, wo die theoretischen Forderungen und Erwartungen sich erfüllen lassen, wo Schwierigkeiten auftauchen und ein Überdenken des theoretischen Ansatzes notwendig wird.

Folgerung:

Exemplarisch steht in der Lehrkunst auch für Exempel: Die Lehrstücke sind Teil des didaktischen Konzepts. Praxis und Theorie stehen in wechselseitiger, fruchtbarer Auseinandersetzung. Die Lehrkunst-Didaktik kann nicht ohne konkrete Lehrstücke dargestellt werden. Dieser Ansatz ist bei Wagenschein weniger deutlich. In seinen Schriften stehen die Unterrichtseinheiten als erhellende Beispiele. Die Didaktik kann aber auch losgelöst von Wagenscheins konkreten Umsetzungen dargestellt werden.

6.2. Genetisch

Das Genetische ist bei Wagenschein der Leitbegriff³³⁹. Er fordert einen genetischen Unterricht, weil „ein naturwissenschaftliches Ergebnis gar nicht verstanden werden kann ohne Kenntnis des Weges, der zu ihm führte.“³⁴⁰ Im Zentrum steht also das Verstehen. Nicht schnelle, oberflächliche Kenntnisse, sondern vertieftes Wissen. Verstehen im Sinne Wagenscheins heisst: sehen, wie ein Ergebnis zustande gekommen ist, und nicht: über dieses Ergebnis verfügen³⁴¹. Und das ist nach Wagenschein in den Naturwissenschaften nur mit einem genetischen Unterricht möglich. Es geht hier nicht darum zu prüfen, ob dieser Satz auch ausserhalb der Naturwissenschaften gilt, denn die untersuchten Lehrstücke sind aus diesem Bereich.

a) systematisch versus genetisch

Die Naturwissenschaften haben die Struktur, dass auf gesicherten Grundlagen die weiteren Ergebnisse logisch aufbauen. Viele Lehrbücher und Lehrgänge der Physik und Chemie orientieren sich deshalb an einem systematischen Aufbau. Man beginnt zum Beispiel in der Chemie mit dem Atommodell und leitet daraus die Eigenschaften und das Reaktionsverhalten der Stoffe ab. Wagenschein und Berg/Schulze gehen einen völlig anderen Weg. Am Anfang stehen die rätselhaften Phänomene, die Fragen aufwerfen, die uns in die Sache hineinlocken. Aus der Auseinandersetzung mit den Phänomenen sollen sich dann die Modelle und die

³³⁸Hans Christoph Berg: Ein anderer Blick. In: Berg/Schulze: Lehrkunst; S.12

³³⁹ „Wenn man nach einer einzigen Bezeichnung sucht, ist es mit dem Wort *Genetisch* am ehesten getroffen“, Martin Wagenschein: Verstehen lehren; S.75. siehe dazu auch Fussnote 330

³⁴⁰ Martin Wagenschein: Die Pädagogische Dimension der Physik; S.89

³⁴¹ siehe dazu Peter Stettler: Texte schreiben im Physikunterricht

Fachbegriffe aufdrängen. Es ist ein pädagogischer, ein individualgenetischer³⁴² Weg, der sich nach der Frage richtet: Wie entsteht das Wissen in den Köpfen der Lernenden? In vielen Fällen deckt sich dieses Vorgehen mit dem historisch-genetischen Weg, denn oft müssen wir, um neue Vorstellungen zu entwickeln, die gleichen Fragen klären, die sich auch die Forscher in der Wissenschaftsgeschichte stellten. Es ist eine falsche Idee zu denken, dass man diesen Prozess des Suchens überspringen und gleich mit den heutigen Kenntnissen anfangen kann, denn diese Kenntnisse hängen dann in der Luft, sind Scheinwissen, wie Wagenschein oft gezeigt hat.

b) den Weg selber gehen

Wichtig für Wagenschein ist, dass die Lernenden den mühsamen Weg des Erkennens selber gehen und nicht nur nachvollziehen, dass also nicht der Lehrer erklärt, wie man zu den Ergebnissen kommt, sondern dass die Schüler und Schülerinnen selber diese Ergebnisse finden. In diesem Prozess lernen die Schüler und Schülerinnen kritisches Denken und produktive Findigkeit. Das dritte Ziel dieses Vorgehens ist die Einwurzelung. Das Thema muss die Lernenden ergreifen, beschäftigen. Wagenschein setzt darauf, dass das mit einem sorgfältig ausgewählten Initiationsphänomen erreicht werden kann: ein Phänomen, das aus dem Alltag der Schüler und Schülerinnen kommt, das merkwürdig und rätselhaft ist, es lässt einen nicht mehr los, bis man die Lösung gefunden hat. Berg/Schulze fügen den Begriff der Grundfigur hinzu, die einen roten Faden durch das Lehrstück bildet, das Lehrstück zusammenhält, überblickbar macht.

Am Beispiel Barometer: Wagenschein setzt auf das zündende Experiment mit dem Bierglas. Alles weitere: der lange Schlauch, das Experiment auf dem Puy de Dôme, die Magdeburger Halbkugeln, entwickelt sich dann aus dem Nachdenken über das rätselhafte Bierglas. Beim Lehrstück „Pascals Barometer“ kommen die gleichen Experimente vor, aber in der Komposition des Lehrstücks wurde um die Gestaltung gerungen: Dass das Bierglas als Grundfigur sich in den Schlauch verwandelt, in die Flasche mit und ohne Luft im Innern, dass es als Glasrohr mit Quecksilber gefüllt auf den Puy de Dôme steigt und schliesslich in Form von zwei metallenen Halbkugeln zu einer unvergesslichen Demonstration der Stärke des Luftdrucks verwendet wird, bildet einen roten Faden durch das Lehrstück. Das Bierglas tritt also in verschiedenen Szenen auf, die Ruedi Pfrter in Bildern dargestellt hat, Bilder, die zeigen, was die zentralen Ergebnisse auf unserem Weg sind. Die Erfahrung im Unterricht zeigt, dass das Bewusstmachen der Schwerpunkte - auch durch die persönlichen Zusammenfassungen im Heft - ein wesentlicher Schritt ist, damit das Wissen verankert wird.

c) Kulturgeschichte der Menschheit

Wagenschein wünscht, dass der Lehrer sich mit den Originaltexten der alten Forscher beschäftigt, da sie ihre Entdeckungen oft in einer anschaulichen Sprache formulieren und man bei ihnen den Weg des Suchens nachvollziehen kann. Auch für Berg/Schulze ist es wichtig, dass das kollektive Lernereignis im historischen Kontext dargestellt wird. Es geht dabei einerseits um den didaktischen Effekt, dass die Schüler und Schülerinnen sehen, wie auch grosse Naturwissenschaftler mit den Fragen, die im Unterricht auftauchen, gerungen haben, andererseits geht es auch darum, das naturwissenschaftliche Ergebnis als Teil unserer Geistes- und

³⁴² „individualgenetisch“ fasst zusammen, was Hans Christoph Berg mit „ontogenetisch“ (die Entstehung des Wissens in der Entwicklung des Kindes) und „aktualgenetisch“ (die Entstehung des Wissens in der aktuellen Situation) bezeichnet.

Kulturgeschichte zu erkennen. „I propose, that science be taught at whatever level, from the lowest to the highest, in the humanistic way. It should be taught with a certain historical understanding, with a certain philosophical understanding, with a social understanding in the sense of biography, the nature of the people who made this construction, the triumphes, the trials, the tribulations“³⁴³ Was der Nobelpreisträger I.I.Rabi im Vorwort des „Project Physics Course“ schrieb, könnte auch im Lehrkunst-Buch stehen!³⁴⁴

In den Interpretationen habe ich nachgewiesen, dass die in dieser Arbeit vorgestellten Lehrstücke den Anforderungen eines genetischen Lehrgangs im Sinne Wagenscheins genügen. Ich füge hier noch einen Seitenblick auf zwei weitere Beispiele an, anhand derer ich zwei Fragen beantworte:

1. Erfüllt Wagenschein selbst seine Forderung nach einem genetischen Lehrgang? Ich wähle dazu das „Fallgesetz im Brunnenstrahl“:

Die Frage nach der Bahn eines geworfenen Steins führt zur Vermessung des Brunnenstrahls, zur Zerlegung der Bewegung und zuletzt zum Fallgesetz. Vom alltäglichen Phänomen Schritt für Schritt über die Messung zum physikalischen Gesetz. Die Schüler und Schülerinnen lernen, produktiv zu suchen, zum Beispiel: Wie kann man die Flugbahn eines Steins aufzeichnen? und kritisch zu denken: Ist die Bewegung des Wasserstrahls dasselbe wie ein geworfener Stein? Und weil Wagenschein von Phänomenen des Alltags (geworfener Stein, Wasserstrahl) ausgeht und die Schüler und Schülerinnen Schritt für Schritt das Fallgesetz in einer einfachen Form (in der doppelten Zeit die vierfache Strecke) erarbeiten, scheint mir auch die Einwurzelung erreichbar. Wagenscheins Lehrgang orientiert sich an der Entstehung des Wissens bei den Lernenden, er ist individualgenetisch aufgebaut. Interessant ist, dass Wagenschein in diesem Lehrgang den historisch-genetischen Weg völlig ausser Acht lässt. Galilei hat das Fallgesetz nicht am Brunnenstrahl entdeckt, sondern mit der Fallrinne. Wagenschein beschreibt diesen Weg an anderer Stelle³⁴⁵ und wählt hier aus didaktischen Gründen einen anderen Weg. Dass er aber Galilei, dessen Lektüre er geschätzt und ausdrücklich empfohlen hat³⁴⁶, im „Fallgesetz im Brunnenstrahl“ überhaupt nicht erwähnt, ist erstaunlich.

2. Erfüllen Lehrstücke, die nicht aus Wagenscheins Ansätzen entwickelt wurden, die Anforderungen eines genetischen Unterrichts?

Als Beispiel dazu wähle ich das Lehrstück „Chemisches Gleichgewicht“, entwickelt von Hans Ulrich Küng³⁴⁷: Er geht von einem rätselhaften Phänomen, einem chemischen Experiment, aus. Die Erklärungsversuche führen zu Bildern, die wir bei Goethes Roman „Wahlverwandtschaften“ finden. Der Chemiker Berthollet, der zur gleichen Zeit lebte wie Goethe, zeigt, wie man zu einer neuen Vorstellung von chemischen Reaktionen kommt und damit auch zu einer neuen Ansicht, was Gleichgewicht heisst. Wagenscheins Anliegen: kritisches Denken, produktive Findigkeit und Einwurzelung (das chemischen Gleichgewicht wird verglichen mit

³⁴³ zitiert nach Fritz Kubli: Plädoyer für Erzählungen im Physikunterricht; S.56/57

³⁴⁴ „...was Lehrkunst im Unterricht zu erreichen versucht: Eindringen der Schülerinnen und Schüler in bedeutsame Elemente der Kultur, in der sie heranwachsen und leben werden.“ Hans Christoph Berg/ Theodor Schulze, Lehrkunst - Ein Plädoyer für eine konkrete Inhaltsdidaktik (erscheint in Deutsche Schule)

³⁴⁵ Martin Wagenschein: Die pädagogische Dimension der Physik; S.288-293

³⁴⁶ Martin Wagenschein: Einladung, Galilei zu lesen; In: M.Wagenschein: Naturphänomene sehen und verstehen,;S.52-56

³⁴⁷ in Lehrkunstwerkstatt II, S. 41-126

andern Situationen, in denen der Begriff Gleichgewicht verwendet wird; das Verhalten chemischer Stoffe wird zurückgeführt auf das Verhalten von Menschen: Paare bilden sich und trennen sich wieder) sind in Küngs Lehrstück in hohem Mass realisiert. Zudem zeichnet Küng auch den wissenschaftsgeschichtlichen Weg sorgfältig auf: Die Schüler und Schülerinnen lernen Berthollet kennen und begleiten ihn nach Ägypten, wo er an einem Natronsee die entscheidende Entdeckung gemacht hat.

In seiner Darstellung des Genetischen zitiert Hans Christoph Berg auch Otto Willmann³⁴⁸, auf den Wagenschein nicht eingeht. Berg beschreibt drei Unterschiede des Genetischen bei Wagenschein und Willmann:

1. Unterschied (Berg): „Willmann setzt nicht bloss die Rätselphänomene auf den Tisch, sondern zugleich auch die Lösungen“

Beim Barometer würde Willmanns Vorgehen bedeuten - und Berg hat diesen Vorschlag auch einmal in die Diskussion gebracht - dass man am Anfang schon sagt, dass unser Ziel sein wird, den Luftdruck als wichtigen Faktor für unser Wetter kennenzulernen. Ich habe mich für den Ansatz von Wagenschein entschieden: Das rätselhafte Bierglas soll uns in eine spannende Diskussion führen, deren Ziel für die Schüler und Schülerinnen noch im Dunkeln liegt. Der Kampf der beiden Erklärungsversuche „horror vacui“ und „Luftdruck“ kann doch gar nicht spannend sein, wenn die Schüler und Schülerinnen schon wissen, dass das Thema dieser Unterrichtseinheit der Luftdruck ist.

Bei der Kerze liegt die Situation gleich. Faraday beginnt mit der Beschreibung der Kerzenherstellung, Johannsen mit dem Flammensprung, ich mit der Zeichnen der Flamme aus der Erinnerung: Immer werden wir durch den Gegenstand, die Kerze, in die Sache hineingelockt, ohne zu wissen, wo es enden wird, nämlich mit dem Kreislauf: Verbrennung und Photosynthese.

Willmanns Rat könnte hingegen hilfreich sein für das Himmelskunde-Lehrstück. Seine Struktur ist komplex, wir beobachten Sterne, zeichnen den Schatten der Erde, überlegen, warum die Erde eine Kugel ist. Und dabei ist die Erwartung der Schüler und Schülerinnen an einen Astronomiekurs doch, dass man über ferne Galaxien usw. etwas lernt. Hier wäre es hilfreich, den Schülern und Schülerinnen einen Vorblick zu geben. Noch nicht die Lösung, wie Willmann es macht, sondern einfach die Struktur des Lehrstücks. Ich werde bei einer nächsten Inszenierung am Anfang das Schema (vgl. Seite 147) zeigen, nicht aber die Glaskugel mit dem Globus in der Mitte, denn sonst denken die Schüler und Schülerinnen bei der unmittelbaren Begegnung der Sterne und der Sonnenbahn schon an das Modell. „Eine Papiereule hat sich vor den Mond gehockt“³⁴⁹, schreibt Wagenschein, hier wäre es dann eine Modelleule, die sich vor den ganzen Himmel hockt.

Hans Ulrich Küng zeigt seinen Schülern und Schülerinnen im Lehrstück „Chemisches Gleichgewicht“ zu Beginn zwei Bilder (eine alte ägyptische Darstellung eines Totengerichts und ein Bild von Paul Klee), die den Begriff des Gleichgewichts enthalten. „Wir wollen uns zwar mit dem chemischen Gleichgewicht auseinandersetzen, dabei aber nicht ausser Acht lassen, dass der Gleichgewichtsbegriff in vielen verschiedenen Bedeutungen und Zusammenhängen gebraucht wird.“³⁵⁰ Er gibt damit schon vor, in welcher Richtung die Lösung des Theaterblut-Versuchs zu

³⁴⁸ Hans Christoph Berg: Genetische Methode. Lehrkunst, S.357

³⁴⁹ Martin Wagenschein: Verstehen lehren, S.63

³⁵⁰ Hans Ulrich Küng: Chemisches Gleichgewicht; In: Berg/Schulze: Lehrkunstwerkstatt II, S.48

suchen sein wird. Im Unterschied zur Inszenierung von Pascals Barometer, wo ich das Bierglasexperiment vorführe, ohne die Begriffe Barometer oder Luftdruck zu erwähnen, nennt Hans Ulrich Küng seinen Schülern und Schülerinnen am Anfang das Thema: Das auf dem Tisch liegende Buch enthält zwar leere Seiten, trägt aber den Titel „Chemisches Gleichgewicht“³⁵¹.

2. Unterschied (Berg): Bei Wagenschein ist Sokrates der Lehrmeister: Er stellt das Problem, er zerstört das Scheinwissen und hilft dem neuen Wissen auf die Welt. Bei Willmann ist Aristoteles der Lehrmeister, der „doziert, aber er doziert genetisch“. In den drei Lehrstücken der vorliegenden Arbeit kommen wenig Phasen vor, wo der Lehrer doziert. Dort, wo das sokratische Gespräch nicht sinnvoll scheint, erarbeiten die Schüler und Schülerinnen das Wissen in einem individualisierenden Unterricht: das Basteln der Sternkarte, das Suchen der Theorien zum Wetter in Büchern.

3. Unterschied (Berg): „Zu der Gesprächsrunde der Kinder und der Originalforscher tritt ein geduldiger, aber zielstrebig und zielkundiger Führer.“ Auch bei Wagenschein gibt es den geduldigen Führer, der das Ziel kennt: „Für den Lehrer liegt im Dunkel nur, welcher Weg sich ausbilden wird, für die Schüler auch das Ergebnis (sein Ende).“³⁵² Nur „zielstrebig“³⁵³ ist Wagenscheins Führer nicht. Er weiss, dass das Ziel auf verschiedenen Wegen - oft auch auf Umwegen - erreicht werden kann, und er vertraut auch darauf, dass, wenn er sich nur ausreichend zurückhält, seine Schüler und Schülerinnen einen dieser Wege finden werden. Diese Haltung - von Wagenschein gelernt - leitete mich beim Barometer, bei der Kerze und bei der Himmelskunde.

Folgerung:

Die drei Lehrstücke „Pascals Barometer“, „Faradays Kerze“ und „Elementare Himmelskunde“ orientieren sich in Bezug auf das Genetische an Wagenschein. Bergs Erweiterung auf Willmann wurde in diesen Lehrstücken nicht fruchtbar.

Die Lehrstücke erfüllen die Anforderungen Wagenscheins an einen genetischen Unterricht: produktive Findigkeit, kritisches Denken und Einwurzelung werden in hohem Mass angestrebt. Neben der Zentralfrage: „Wie entwickelt sich das Wissen, ausgehend vom rätselhaften Phänomen bis zur Erkenntnis, bei den Lernenden?“ beschäftigt sich die Lehrkunst auch stark mit der Frage: „Wo und wie entstand die Erkenntnis in der Geschichte der Wissenschaft?“ Genetisch im Sinne der Lehrkunst meint: individualgenetisch und historisch-genetisch.

Bei Wagenschein ist das Genetische die eigentliche Grundlage seiner Didaktik, aus der das Sokratische folgt, weil sich ein genetischer Prozess am besten im Gespräch ergibt; und weil das gründliche, sokratische Arbeiten Zeit braucht, ist es nur an ausgewählten Stellen – exemplarisch - möglich.

Bei Berg/Schulze leitet das Genetische den Aufbau der Lehrstücke. Ihm zur Seite tritt das Dramaturgische, das sich mit der Ausgestaltung der Lehrstücke für die Umsetzung im Unterricht befasst.

³⁵¹ siehe Photographie auf Seite 114 in H.U.Küng: Chemisches Gleichgewicht

³⁵² Martin Wagenschein: Verstehen Lehren; S.98, Fussnote 40

³⁵³ im Sinne von: möglichst schnell und effizient ans Ziel kommen

6.3. Dramaturgisch

Die dramaturgische Gestaltung der Lehrstücke ist ein zentrales Anliegen der Lehrkunst. Wagenschein verwendet den Begriff der dramaturgischen Gestaltung nicht, obwohl auch seine Lehrgänge gestaltet sind, d.h. einen sorgfältig durchdachten Aufbau haben. Die Gestaltung tritt aber bei Berg/Schulze viel deutlicher in den Vordergrund. Wie kann ein Stück gegliedert werden? Was ist die Grundfigur und wie wandelt sie sich im Laufe des Stücks? Als hilfreich für die Gestaltung eines Lehrstücks hat sich der Vergleich mit dem Theater erwiesen. Es geht dabei nicht darum, eine konkrete Dramentheorie aus der Theaterwelt auf den Unterricht zu übertragen, sondern es geht darum, sich vorzustellen: Wie müssen die einzelnen Akte und Szenen aufgebaut sein, damit ein Ganzes daraus wird? Wie muss die Grundfigur in den einzelnen Akten in Erscheinung treten, damit der rote Faden deutlich wird? Es zeigt sich dann oft, dass eine einzelne Szene noch nicht das richtige Gewicht hat oder dass eine zentrale Figur noch zu wenig ausgestaltet ist, etwa im Beispiel „Barometer“ die Gestalt von Blaise Pascal. In der Inszenierung von 1995 tritt Pascal auf, aber er ist noch nicht lebendig, farbig genug, um sich den Schülern einzuprägen. Und erst, wenn sein Ringen mit dem horror vacui deutlich wird, können die Schüler und Schülerinnen den Luftdruck richtig erfassen. In der Inszenierung von 1999 habe ich deshalb Pascal mehr ins Zentrum gerückt.

Es geht also beim Komponieren eines Lehrstücks nicht nur darum, den genetischen Weg zu finden, sondern auch darum, ihn zu gestalten, lebendig und spannend zu machen, damit die Lernprozesse besser verankert werden. Die Rückmeldungen zeigen, dass solche Gestaltungselemente wichtig sind, zum Beispiel das Inszenieren des Experiments mit dem langen Schlauch: Das Experiment wird nicht einfach vorgeführt als Beweisstück, sondern es wird als dramatischer Höhepunkt einer langen Auseinandersetzung „Luftdruck oder horror vacui?“ angelegt, ein Experiment, das alle mit grosser Spannung miterleben und deshalb, wie die Rückmeldungen zeigen, auch nicht vergessen.

Theodor Schulze diskutiert in seinem Konzept der Dramaturgie die Metapher des Theaters. Er schreibt dazu: „Wir wissen, dass die Lehrtätigkeit im strengen Sinn keine künstlerische Tätigkeit ist. Aber wir meinen, dass sie der künstlerischen Tätigkeit sehr viel näher steht als der technologischen oder der organisatorischen und administrativen.“³⁵⁴ „Der Produzent eines Lehrstücks ... wird quasi zum »Dichter«, und der Lehrer wird quasi zum »Regisseur«. Beide Rollenbezeichnungen haben hier zunächst eine metaphorische Bedeutung. Aber sie verweisen auf die anspruchsvolle und kreative Aufgabe, die von beiden Seiten zu leisten ist“³⁵⁵ In den didaktischen Interpretationen wird die Theatermetapher aufgenommen, indem die drei Lehrstücke Barometer, Kerze und Himmelskunde dem Schauspiel „Leben des Galilei“ von Brecht gegenübergestellt werden. Der Vergleich mit dem Schauspiel scheint mir vor allem für die Gestaltung des Lehrstückes fruchtbar zu sein: das Lehrstück als in sich geschlossene Einheit, eingeteilt in Akte und Szenen, mit einer Grundfigur, die sich im Laufe des Stückes entwickelt, verändert und so den roten Faden des Stückes bildet. Genauso wie im Schauspiel ist es im Lehrstück wichtig, dass man die Handlung als Einheit erlebt, dass man die einzelnen Lernergebnisse in ihrem Zusammenhang sieht (etwa die Magdeburger Halbkugeln nicht bloss als eindruckliches Experiment, sondern in Verbindung mit dem Gewicht der Luft, das seinerseits mit dem Gewicht der langen

³⁵⁴ Theodor Schulze: Didaktik heisst Lehrkunst; Lehrkunst S.53

³⁵⁵ Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie; S.369

Wassersäule gedacht wird, und im Hinblick auf die gewaltigen Kräfte, welche den von Luftdruckunterschieden erzeugten Winden innewohnt). Wenn es gelingt, analog zum Schauspiel einen spannenden und transparenten Handlungsverlauf zu komponieren, wenn sich die wichtigen Szenen in Bildern einprägen, so unterstützt das ganz wesentlich die angestrebten Lernprozesse. Heisenberg schreibt: „Gewöhnlich lässt der Schulunterricht die verschiedenen Landschaften der geistigen Welt an unseren Augen vorbeiziehen, ohne dass wir in ihnen recht heimisch werden. ... Aber in einigen seltenen Fällen fängt ein Gegenstand, der so ins Blickfeld getreten ist, plötzlich an, im eigenen Licht zu leuchten, greift auf andere Gegenstände über und wird schliesslich zu einem wichtigen Teil unseres Lebens.“³⁵⁶ Die dramaturgische Gestaltung versucht, den Gegenstand so in Szene zu setzen, dass er von selber zu leuchten beginnt, dass er lebendig wird. Erzwingen lässt sich das allerdings nicht, denn „das Lehren ist vom Lernen durch einen tiefen Abgrund ... getrennt. ... Dieser Abgrund lässt sich nicht durch kausale Verknüpfungen und technische Konstruktionen überwinden, sondern nur durch Annäherung und Einfühlung, durch Versuch und Irrtum, durch angesammelte Erfahrung und reflektierte Aufmerksamkeit, durch Fantasie und durch die Zuversicht des eigenen Engagements“³⁵⁷.

Manuela schreibt dazu in ihrer Rückmeldung zur Lehrkunst im Unterricht: „Da wird ein Fremdes gezielt beleuchtet, und langsam wird es einem vertraut. Man schreibt einen Text dazu, in dem man die einzelnen Szenen nochmals reflektiert. Zum Schluss bleibt eine Geschichte, eine Handlung und ein Gesamteindruck des Stücks. All dies ist natürlich dem Regisseur zu verdanken. Das subtile Lenken der Ideen und sokratischen Gespräche, diese grossartige Scheinwerferführung, liess uns die Lehrkunst als spannende Unterrichtsform erleben.“ Manuela hat das Bild des Theaters aufgenommen, es hat sich bewährt, um das Erleben eines Lehrstücks im Unterricht zu beschreiben.

Im Hinblick auf das Dramaturgische kann man fragen: Genügen Wagenscheins Beispiele den Ansprüchen der Lehrstück-Dramaturgie? Immerhin hat sich ja die Lehrkunst aus dem Ausprobieren von Wagenscheins Unterrichtsvorschlägen (Lehrgänge und Skizzen) entwickelt.

Die Frage ist schwierig zu beantworten, weil ausser den Primzahlen von Wagenschein keine Unterrichtsberichte vorliegen und weil nur wenige Beispiele ausführlich ausgearbeitet wurden. Eines davon ist „Das Fallgesetz im Brunnenstrahl“³⁵⁸. Hartmut Klein hat es sehr nahe an der Vorlage von Wagenschein inszeniert. Die Abweichungen von Kleins Unterricht und Wagenscheins Vorlage (z.B. der Schlauch, der „zufällig“ im Schulgarten lag) sind Einfälle des Regisseurs und nicht grundsätzliche Veränderungen durch die Theorie der Lehrstück-Dramaturgie. Allerdings fehlt dem Lehrstück der Einbezug von Galilei. Er verhalf der Idee zum Durchbruch: Physik heisst Experimente durchführen, messen, die Natur in Zahlen und Formeln erfassen. Es scheint denkbar, dass die Lehrstück-Dramaturgie hier einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung des Lehrstücks zum Fallgesetz

³⁵⁶ Werner Heisenberg: Das Naturbild der heutigen Physik, S.39 (Wagenschein zitiert diesen Text in Verstehen Lehren, S.41)

³⁵⁷ Hans Christoph Berg/Theodor Schulze: Lehrkunst - Ein Plädoyer für eine konkrete Inhaltsdidaktik; (in: Deutsche Schule, 1999, S.102-122) Vgl. auch Hans Aebli: Grundformen des Lehrens, S.234: „Ein fleissiger Schüler vermag vielleicht auswendig zu lernen, ohne dass sich ihm jedoch die Einsicht in den Sinn des Ganzen eröffnet. Diese Einsicht ist ein Geschenk, das zu erwirken nur teilweise in unserer Macht steht.“

³⁵⁸ in: Martin Wagenschein: Natur physikalisch gesehen, S.31-41

leisten kann: Der Einbezug eines lebendigen Galilei als Begründer der Naturwissenschaft.

Die Lehrstücke dieser Arbeit geben keine Antwort auf die Frage der Beziehung von Wagenscheins Unterrichtsbeispielen und der Lehrstück-Dramaturgie. Beim „Barometer“ ist der Anfang des Lehrstücks und der Anfang bei Wagenschein der gleiche: Das Rätseln um das seltsame Verhalten des Bierglases. Aber wie geht es weiter? Die einzige mir bekannte Aufzeichnung von Wagenscheins Unterricht ist sein Seminar in Darmstadt, aber dort ging es, wie viele Zwischenbemerkungen Wagenscheins zeigen, um Fragen der Didaktik, am Beispiel des Luftdrucks, und das lässt sich nicht direkt mit einem Unterricht zum Luftdruck vergleichen.

Auch in der Himmelskunde ist ein Vergleich nicht möglich. Im Lehrstück geht es um das Erarbeiten des geozentrischen Weltbildes aufgrund eigener Anschauung, während bei Wagenschein in „Die Erde unter den Sternen“ das Umdenken zum heliozentrischen Weltbild im Zentrum steht.

Folgerung :

Die Lehrstück-Dramaturgie ist ein wichtiges Element der Lehrkustdidaktik. Sie befasst sich mit der Frage: Wie muss ein Lehrstück konzipiert und für die Inszenierung gestaltet werden, damit ein spannender, tiefgründiger Unterricht entsteht? Die Theatermetapher ist hilfreich insbesondere, wenn man sich das Lehrstück als Ganzes vor Augen führt, in Akte gliedert, wenn man erkennt, wie sich die Grundfigur im Laufe des Stücks wandelt und welche Erkenntnis sich mit ihr verbindet. „Wo Anfang, Durchführung und Ende sich zum Ganzen runden, erleben wir eine Art ästhetischer Befriedigung. Wir sollten sie den Schülern recht oft gönnen.“³⁵⁹

6.4. Sokratisch

Das Sokratische hat zwei Dimensionen: Die erste ist die pädagogische Grundhaltung, mit der auch Sokrates lehrte: Sokrates als Stechfliege, mit dem Ziel, Scheinwissen zu entlarven, und Sokrates als Hebamme, mit dem Ziel, neuem Wissen auf die Welt zu helfen. Diese sokratische Haltung ist sowohl bei Wagenschein als auch in der Lehrkunst in hohem Masse zu finden.

Die zweite Dimension des Sokratischen ist das sokratische Gespräch. Es ist die zentrale Methode des Unterrichtens bei Martin Wagenschein: „Das wirkliche Verstehen bringt uns erst das Gespräch: gelassen, locker, intensiv. Ausgehend und angeregt von etwas Rätselhaftem, auf der Suche nach dem Grund“³⁶⁰ Wagenschein beruft sich auf Leonard Nelson, der diese Methode in seinen Philosophie-seminaren praktizierte. Rainer Loska, der sich ausführlich mit der Geschichte des sokratischen Gesprächs befasst hat, kommt zum Schluss, dass Wagenschein den Verlauf des Gesprächs stärker steuert als Nelson: „Wagenscheins genetisches Lehren geht von einer im Kern festgelegten Argumentationsführung aus. Das Gespräch über ein bestimmtes Problem würde in den Hauptzügen immer wieder einen ähnlichen Verlauf nehmen. Deshalb braucht Wagenschein stärkere Steuerungsinstrumente als Nelson. Eines dieser Instrumente sind die heuristischen Regeln, ...“³⁶¹ In diesem Zusammenhang ist eine Rückmeldung von Simone interes-

³⁵⁹ Hans Glöckel: Auch Aufhören will gekonnt sein. Unterrichten/Erziehen, 2/93, S.9

³⁶⁰ Martin Wagenschein: Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft, S.74

³⁶¹ Rainer Loska: Lehren ohne Belehrung. Klinkhardt, 1995, S.263

sant: „Ich staunte immer, dass unsere Resultate in die richtige Richtung gingen. Erst später habe ich gemerkt, dass Du auch ein wenig gelenkt hast. Ich habe das im Unterricht nie gemerkt.“

Das sokratische Gespräch spielt in den Lehrstücken „Barometer“ und „Kerze“ eine wichtige Rolle: Beim Barometer werden die beiden ersten Akte (Vom Bierglas zum Barometer und vom Luftdruck zur Barometerformel) fast ausschliesslich in Form des sokratischen Gesprächs erarbeitet, ebenso bei der Kerze (1.Akt: Was brennt? und 2.Akt: Warum leuchtet die Kerzenflamme?). Bei der Himmelskunde ist der Anteil des sokratischen Gesprächs deutlich geringer: „Warum ist die Erde rund?“ und „Warum ist der Schatten nicht um 12 Uhr am kürzesten?“ sind zwei Probleme, die im sokratischen Gespräch gelöst werden. Theodor Schulze schreibt: „Wir meinen, dass das sokratische Gespräch nur eine Möglichkeit der Regieführung durch den Lehrer ist, und dass es sehr viel wichtiger und zugleich auch einfacher ist, die Schülerinnen und Schüler in irgend eine Art von Handlung zu verwickeln ...“³⁶² Das wird bei der Himmelskunde deutlich: Das Zeichnen des Horizonts, das Basteln der Sternkarte, das Aufzeichnen und Ausmessen der Schattenlinie, aber auch das Vorstellen ihrer Bücher und das Erarbeiten der Mondphasen sind Stellen, an denen die Schüler und Schülerinnen handeln, aktiv sind und so zu neuen Ergebnissen kommen.

Aber auch der darlegende Unterricht kommt in der Lehrkunst vor: Zum Beispiel der dritte Akt beim Barometer, wo der Lehrer die Versuche zum Luftdruck vorführt und Pascal und v. Guericke in den historischen Rahmen einbettet, ist stark durch den Lehrer geführt, oder der 4.Akt bei der Kerze: „Der Kreislauf: Verbrennung und Photosynthese“ wird vom Lehrer vorgetragen, und schliesslich ist der letzte Akt im Himmelskunde-Lehrstück - der Ausblick in Form eines Diavortrages - ein darlegender Unterricht in reinsten Form.

Und schliesslich kommen auch noch andere Unterrichtsformen vor. Ich erinnere hier an den 4. Akt beim Barometer: Das Wetter wird als Gruppenunterricht von den Schülern und Schülerinnen mit Hilfe von Büchern selbständig erarbeitet, in der zweiten Inszenierung noch ergänzt durch einen Schülervortrag. Im Lehrstück „Chemisches Gleichgewicht“ wird nach einem sokratischen Gespräch zum rätselhaften Experiment mit dem Theaterblut ein Ausschnitt aus Goethes Wahlverwandtschaften im Rollenspiel vorgetragen, am Computer arbeiten die Schüler und Schülerinnen mit einem Simulationsprogramm.

Die Lehrkunst-Didaktik macht sich also die heutige Methodenvielfalt zu Nutze und fragt: Welche Unterrichtsform eignet sich für eine bestimmte Szene im Lehrstück am Besten? In diesem Sinne kann auch „sokratisch“ nicht durch „dramaturgisch“ ersetzt werden: Die Dramaturgie hat die Gestaltung des ganzen Lehrstücks im Auge, während das sokratische Gespräch eine mögliche Form zur Gestaltung ist. Besonders für naturwissenschaftliche Themen scheint mir das sokratische Gespräch allerdings eine geeignete Form zu sein, da Vorschläge der Schüler und Schülerinnen nicht durch den Lehrer bewertet werden müssen, sondern im Experiment nachgeprüft werden können.

Folgerung :

Das sokratische Gespräch ist eine wichtige, aber nicht notwendige Komponente eines genetisch-dramaturgischen Unterrichts. Es kann durch andere Formen (z.B. handelnder Unterricht, darlegender Unterricht) sinnvoll ergänzt werden.

³⁶² Theodor Schulze: Lehrstück-Dramaturgie;S.381

6.5. Exemplarisch: genetisch-dramaturgisch

Insgesamt ziehe ich aus meinen Untersuchungen folgenden Schluss: Die Charakterisierung: „Exemplarisch: genetisch-dramaturgisch“ ist die richtige Beschreibung für die Lehrkustdidaktik, denn:

- Exemplarisch geht voraus:

1. Die Exempel - die Lehrstücke - stehen in fruchtbarer Wechselwirkung mit der Theorie. Eine vollständige Darstellung der Lehrkunst erfordert, Theorie und Lehrstücke zusammen im Blick zu haben.

2. Die Anforderungen an die Auswahl der Themen sind hoch: Themen, mit denen sich die Menschen immer wieder beschäftigt haben, die wichtige Schritte in der Kulturgeschichte der Menschheit darstellen, die fachliche und kategoriale Einsichten ermöglichen.

- Genetisch und Dramaturgisch haben gleiches Gewicht, es sind zwei Begriffe, auf denen die Theorie der Lehrkunst aufbaut.

Das Genetische befasst sich mit dem Entstehen des Wissens bei den Lernenden (individualgenetisch) und mit dem Entstehen des Wissens in der Menschheitsgeschichte (historisch-genetisch). Es zielt, im Sinne Wagenscheins, auf produktive Findigkeit, kritisches Vermögen und Einwurzelung.

Das Dramaturgische befasst sich mit der Gestaltung der Lehrstücke im Hinblick auf die unterrichtliche Inszenierung. Es geht im Kern um die Gliederung, das Finden einer Grundfigur und ihrer Verwandlung und die passende Unterrichtsmethode im Hinblick auf einen spannenden, tiefgründigen Unterricht.

- Das Sokratische wird nicht mehr explizit erwähnt, weil es nur eine - in den beschriebenen Lehrstücken allerdings eine besonders wichtige - Form neben anderen (handelnder Unterricht, darlegender Unterricht) zur dramaturgischen Gestaltung eines Lehrstücks ist.

- „Erst Weg und Ziel zusammen sind Bildung“³⁶³: Das Exemplarische befasst sich mit dem Ziel: Welche Themen sollen ausgewählt werden? Was ist ihre Bedeutung in der Kulturgeschichte des Menschen und für die Lernenden heute? Das Genetische befasst sich mit dem Studium des Weges: Wie verlief der Weg in der Wissenschaftsgeschichte und wie können Lernende heute diesen Weg nachvollziehen? Das Dramaturgische befasst sich mit der Gestaltung des Weges im Hinblick auf den Unterricht.

Aus den beschriebenen Erkenntnissen soll nun der Versuch gemacht werden, eine bündige Zusammenfassung der Lehrkunst in wenigen Sätzen zu formulieren, in Anlehnung an die eingangs dieses Kapitels zitierte Formulierung Wagenscheins für seine Didaktik:

Lehrkunst wird mit den Begriffen „Exemplarisch: genetisch-dramaturgisch“ beschrieben. Exemplarisch geht voraus, weil gediegene Lehrstücke zu ausgewählten Themen die Pfeiler sind, auf denen der ganze Unterricht aufbaut, und weil diese Lehrstücke die Quelle sind, aus der die Theorie der Lehrkunst schöpft. Die Lehrstücke befassen sich mit Sternstunden der Kulturgeschichte der Menschheit. Die

³⁶³Hans Christoph Berg: Genetische Methode;S.357

genetische Methode zielt auf das Verstehen, das nur möglich ist, wenn man den Weg und das Ziel im Blick hat. Die Lehrkunst orientiert sich am Entstehen des Wissens beim Lernenden (individualgenetisch) und am Entstehen des Wissens in der Menschheit (historisch-genetisch). Die dramaturgische Methode zielt auf die Gestaltung der Lehrstücke im Hinblick auf die Inszenierung im Unterricht: in sich geschlossener Zusammenhang, lebendige Grundfigur, klare Gliederung, transparenter und spannender Verlauf.

7. Literaturverzeichnis

- Aebli, Hans:** Zwölf Grundformen des Lehrens (1983) Klett-Cotta Verlag, Stuttgart (Zitate aus der 5. Auflage)
- Aeschlimann, Ueli:** Warum leuchtet die Kerzenflamme? (1993) Schriften der Schweizerischen Wagenschein-Gesellschaft, Heft 4
- Aeschlimann, Ueli:** Pascals Barometer (1997) In: Berg/Schulze: Lehrkunstwerkstatt I, S.90-116
- Aeschlimann, Ueli / Berg, Hans Christoph:** Kleine Bilderführung zur Lehrkustdidaktik (1998) In: Berg/Schulze: Lehrkunstwerkstatt II, S.15-27
- Aeschlimann, Ueli:** Ein Lehrstück nachspielen (1998) In: Berg/Schulze: Lehrkunstwerkstatt II, S.132-136
- Aeschlimann, Ueli:** Weltkarte und Globus (1998) In: die neue Schulpraxis, Heft 12/98, S.38-40
- Ahrens, Daniel:** Die Himmelsuhr (1995) In: Berg/Schulze: Lehrkunst, S.71-90
- Arni, Arnold:** Elementare Bindungslehre (1981) Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt und Verlag Sauerländer, Aarau
- Arni, Arnold:** Verständliche Chemie (1998) WILEY-VCH Verlag, Weinheim
- Baars, Günter / Christen, Hans Rudolf:** Allgemeine Chemie: Theorie und Praxis (1995) Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt und Verlag Sauerländer, Aarau
- Béguin, Albert:** Pascal (1992) Rowohlt Taschenbuch Verlag, Hamburg
- Berg, Hans Christoph:** Lehrkunst im Traditionsstrom - dank Wagenschein (1986) In: Neue Sammlung, Heft 4/86
- Berg, Hans Christoph:** Diesterwegs Himmelskunde (1990/92) In: Berg: Suchlinien, S.89-80
- Berg, Hans Christoph:** Suchlinien (1993) Luchterhand Verlag, Neuwied, Kriftel, Berlin
- Berg, Hans Christoph / Schulze, Theodor:** Lehrkunst (1995) Luchterhand Verlag, Neuwied, Kriftel, Berlin
- Berg, Hans Christoph:** Genetische Methode (1995) In: Berg/Schulze: Lehrkunst, S.349-360
- Berg, Hans Christoph / Schulze, Theodor:** Lehrkunstwerkstatt I (1997) Luchterhand Verlag, Neuwied, Kriftel, Berlin
- Berg, Hans Christoph / Schulze, Theodor:** Lehrkunstwerkstatt II (1998) Luchterhand Verlag, Neuwied, Kriftel, Berlin
- Berg, Hans Christoph / Schulze, Theodor:** Zehn Thesen zur Lehrkunst (1998) In: Berg/Schulze: Lehrkunstwerkstatt II, S.341-346
- Berg, Hans Christoph / Schulze, Theodor:** Lehrkunst - Ein Plädoyer für eine konkrete Inhaltsdidaktik (1999) In: Deutsche Schule, 5.Beiheft 1999, S.102-122
- Berg, Hans Christoph / Aeschlimann, Ueli / Eichenberger, Astrid:** Lehrstückunterricht (1999) In: Wiechmann: Zwölf Unterrichtsmethoden, Beltz Verlag
- Berg, Hans Christoph / Klafki, Wolfgang / Schulze, Theodor:** Lehrkunstwerkstatt III (1999) Luchterhand Verlag, Neuwied, Kriftel, Berlin.
- Bichsel, Peter:** Kindergeschichten (1969) Luchterhand Verlag, Neuwied und Berlin
- Blandine, Eva:** Kerzenlicht (1966) Kontakt-Verlag, Zürich
- Bleichroth, Wolfgang:** Didaktische Probleme der Physik (1978) Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt
- Blixen, Tanja:** Afrika - dunkel lockende Welt (engl. Originalausgabe: 1937) Manesse Verlag, Zürich 1986
- Brecht, Bertolt:** Gesammelte Werke (1967) edition suhrkamp, Frankfurt am Main

- Buck, Peter / Berg, Hans Christoph:** Kristallisationskeime, ein Lesebuch zur Pädagogik Martin Wagenscheins (1986) Weltbund für die Erneuerung der Erziehung, Heidelberg
- Buck, Peter:** Über physikalische und chemische Zugriffsmodi (1996) In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften Heft 3/96, S.25-38
- Buck, Peter:** Gerda Freise: „Chemieunterricht kann nicht in der Art des von Martin Wagenschein beschriebenen Lehrens und Lernens stattfinden“ - der Briefwechsel zwischen Freise und Wagenschein, Teil I (1996) Chimica didactica 3/96, S.347-365
- Buck, Peter:** Einwurzelung und Verdichtung (1997) Verlag der Kooperative Dürnau
- Dannemann, Friedrich:** Aus der Werkstatt grosser Forscher (1922) Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig
- Dewey, John:** Demokratie und Erziehung (englische Originalfassung 1915) Herausgegeben von Jürgen Oelkers (1993) Beltz Verlag, Weinheim und Basel
- Diesterweg, Adolph:** Über die Lehrmethode Schleiermachers (o.J.) in: Sämtliche Werke, Band 3
- Diesterweg, Adolph:** Populäre Himmelskunde und astronomische Geographie (1835) (Zitate aus der 24. verbesserten und vermehrten Auflage, Verlag Henri Grand, Hamburg 1921)
- Eisenhauer, Hannelore / Kohl, Klaus:** Martin Wagenschein: ein tabellarischer Lebenslauf (1996) In: Chimica didactica 3/96, S.244-249
- Faraday, Michael:** Naturgeschichte einer Kerze (englische Originalfassung 1861) Herausgegeben von Peter Buck (1979) Verlag Barbara Franzbecker, Bad Salzdetfurth
- Feigenwinter, Max:** erziehen: wachsen und wachsen lassen (1988) Verlag Arp, Wattwil
- Galilei, Galileo:** Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend (1638) Herausgegeben von Arthur von Oettingen (1973) Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt
- Gasser, Peter:** Neue Lernkultur (1975) Eigenverlag, Gerlafingen (Neuaufgabe 1999 bei Sauerländer Verlag, Aarau)
- Genz, Henning:** Die Entdeckung des Nichts (1999) Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbeck bei Hamburg
- Glöckel, Hans:** Auch Aufhören will gekonnt sein (1993) In: unterrichten/erziehen, 2/93, S.7-10
- Goethe, Johann Wolfgang von:** Schriften zur Naturwissenschaft (1781-1831) Herausgegeben von Michael Böhler (1977) Verlag Philipp Reclam jun., Stuttgart
- Gondolatsch, Friedrich / Steinacker, Siegfried / Zimmermann, Otto:** Astronomie Grundkurs (1990) Ernst Klett Verlag, Stuttgart
- Gschwend, Rolf / Berg, Hans Christoph:** Die Berner Lehrkunstwerkstatt (1998) In: Berg/Schulze: Lehrkunstwerkstatt II, S.285-320
- Hausmann, Gottfried:** Didaktik als Dramaturgie des Unterrichts (1959) Verlag Quelle & Meyer, Heidelberg
- Heisenberg, Werner:** Das Naturbild der heutigen Physik (1955) Rowohlt Taschenbuchverlag, München
- Heisenberg, Werner:** Der Teil und das Ganze (1969) Piper-Verlag, München (Zitate aus der unveränderten Taschenbuchausgabe, Piper, München Zürich 1996)
- Hentig, Hartmut v.:** »Humanisierung« eine verschämte Rückkehr zur Pädagogik? (1987) Klett-Cotta, Stuttgart
- Hentig, Hartmut v.:** Laudation auf Martin Wagenschein (1986) In: Wagenschein: Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft, S.17-52

- Hentig, Hartmut v.:** Bildung (1996) Hanser Verlag, München
- Klafki, Wolfgang:** Das Pädagogische Problem des Elementaren und die Theorie der kategorialen Bildung (1959) Beltz Verlag, Weinheim
- Klafki, Wolfgang:** Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik (1985) Beltz Verlag, Weinheim und Basel (die Zitate stammen aus der 2. erweiterten Auflage, 1991)
- Klafki, Wolfgang:** Exempel hochqualifizierter Unterrichtskultur (1997) In: Berg/Schulze: Lehrkunstwerkstatt I, S.13-35
- Klein, Hartmut:** Faradays Kerze in einer 7. Klasse in Amöneburg (1990) Neue Sammlung 1/90, S.67-75
- Kleist, Heinrich v.:** Von der Überlegung (o.J.) In: Sämtliche Werke, Droemer, München
- Köhnlein, Walter:** Der Vorrang des Verstehens (1998) Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn
- Koyré, Alexander:** Von der geschlossenen Welt zum unendlichen Universum (englische Originalausgabe 1957) Suhrkamp Taschenbuch, Frankfurt 1980.
- Kubli, Fritz:** Plädoyer für Erzählungen im Physikunterricht (1998) Aulis Verlag, Köln
- Kuhn, Thomas S.:** Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen (englische Originalausgabe 1962) Suhrkamp Verlag, Frankfurt, 1973 (Zitate aus der 2. revidierten Auflage)
- Küng, Hans Ulrich:** Chemisches Gleichgewicht. (1998) In: Berg/Schulze: Lehrkunstwerkstatt II, S.41-118
- Labudde, Peter:** Erlebniswelt Physik (1993) Dümmler Verlag, Bonn
- Labudde, Peter:** Selbständig lernen - Eine Chance für den Physikunterricht (1997) Naturwissenschaften im Unterricht: Physik, Heft 37, Februar 1997
- Landwehr, Norbert:** Neue Wege der Wissensvermittlung (1994) Verlag Sauerländer, Aarau
- Lemmerich, Jost:** Michael Faraday: 1791-1867; Erforscher der Elektrizität. (1991) Beck'sche Verlagsbuchhandlung, München
- Loska, Rainer:** Lehren ohne Belehrung (1995) Julius Klinkhardt Verlag, Bad Heilbrunn
- Matter, Mani:** Us emene lääre Gygechaschte (1972) Benziger Verlag Zürich, Köln
- Messner, Rudolf / Rumpf, Horst / Buck, Peter:** Natur und Bildung. Über Aufgaben des naturwissenschaftlichen Unterrichts und Formen des Naturwissens (1997) In: Chimica didactica, Heft 1/97, S.5-31
- Nietzsche, Frierich:** Werke in vier Bänden (1983) Caesar-Verlag, Salzburg,
- Oehlerking-Bähre, Heide:** Martin Wagenscheins Beitrag zur Pädagogik und Didaktik - Untersuchung des von ihm entwickelten Genetisch-Sokratisch-Exemplarischen Lehrverfahrens (1992) Dissertation, Hannover
- Otto, Gunter:** Über Lehre, Kunst und Lehrkunst (1998) In: Berg/Schulze: Lehrkunstwerkstatt II, S.325-340
- Perrey, Werner:** 46 Sternbilder und ihre Legenden (o.J.) Verein für ein erweitertes Heilwesen, Bad Liebenzell
- Raebiger, Christoph:** Was lehren uns des Mondes Licht und Schattenphänomene? (1988) In: L.Fiesser: „Wie war das noch ...?“, Physikseminar der Pädagogischen Hochschule Flensburg
- Ramseger, Jörg:** Was heisst »durch Unterricht erziehen«? (1991) Beltz Verlag, Weinheim und Basel
- Reble, Albert:** Geschichte der Pädagogik (1951). Ernst Klett Verlag, Stuttgart (Zitate aus der 12.überarbeiteten Auflage, 1975)

- Roth, Heinrich:** Pädagogische Psychologie des Lehrens und Lernens (1957) Schrödel Verlag Hannover (Zitate aus der 15. überarbeiteten Auflage, 1976)
- Ruedi, Jürg:** Wagenschein-Pädagogik (1992) In: Basellandschaftliche Schulnachrichten, Nr.5/92, S.22-23
- Ruf, Urs / Gallin, Peter:** Sprache und Mathematik in der Schule (1990) Verlag Lehrerinnen und Lehrer Schweiz (LCH) Zürich
- Rumpf, Horst:** Mit fremdem Blick (1986) Beltz Verlag, Weinheim und Basel
- Rumpf, Horst:** Kostbares Befremden: Lehr-Anfänge nach Wagenschein (1990) Neue Sammlung 1/90, S.32-37
- Rumpf, Horst:** Ein kleiner Kommentar zu „Pascals Barometer“ (1997) In: Berg/Schulze: Lehrkunstwerkstatt I, S.116-119
- Rumpf, Horst:** Staunproduktive Welterfahrungen (1998) In: Berg/Schulze: Lehrkunstwerkstatt II, S.321-324.
- Rumpf, Horst:** Kostbares Befremden: Über die anfängliche Nachdenklichkeit bei Wagenschein (1998) In: Köhnlein: Der Vorrang des Verstehens, S.22-36
- Samburski, Shmuel:** Der Weg der Physik (1975) Artemis Verlag, Zürich und München
- Schadewaldt, Wolfgang:** Sternsagen (1976) Insel Verlag, Frankfurt
- Schirmer, Heinrich:** Die Lehrkunst in Goethes Italienischer Reise (1998) Dissertation an der Universität Marburg; in Teilen publiziert in: Berg / Klafki / Schulze: Lehrkunstwerkstatt III; Luchterhand Verlag
- Schulze, Theodor:** Lehrstück-Dramaturgie (1995) In: Berg/Schulze Lehrkunst, S.361-420
- Schweizerische Konferenz der Erziehungsdirektoren:** Rahmenlehrplan für die Maturitätsschulen (1994) Sekretariat EDK, Bern
- Simonyi, Károly:** Kulturgeschichte der Physik (1990) Verlag Harri Deutsch, Thun/Frankfurt am Main
- Sobel, Dava:** Längengrad (1996) Berlin Verlag, Berlin
- Stettler Peter:** Texte schreiben im Physikunterricht (1997) In: Naturwissenschaften im Unterricht: Physik. Heft 37, S. 31-36
- Theophel, Eberhard:** „Alle im Weltall wirkenden Gesetze ...“ (1995) In: Berg/Schulze: Lehrkunst, S.288-304
- Wagenschein, Martin:** Der Mond und seine Bewegung (1953) In: M.Wagenschein: Natur physikalisch gesehen, S.42-57
- Wagenschein, Martin:** Natur physikalisch gesehen (1953) Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt, Berlin, Köln (Zitate aus 2. Auflage 1960; Das Buch erschien 1975 neu im Verlag Georg Westermann)
- Wagenschein, Martin:** Die Pädagogische Dimension der Physik (1962) Georg Westermann Verlag, Braunschweig (Zitate aus der 4.Auflage; Das Buch ist neu beim Hahner-Verlag erschienen)
- Wagenschein, Martin:** Atomphysik in der Volksschule? (1964) In: W.Bleichroth: Didaktische Probleme der Physik, S.245-252
- Wagenschein, Martin:** Die Erde unter den Sternen (1965) Verlag Julius Beltz, Weinheim (Zitate aus der 3. unveränderten Auflage)
- Wagenschein, Martin:** Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken, Band I. (1965) Ernst Klett Verlag, Stuttgart
- Wagenschein, Martin:** Die Erfahrung des Erdballs (1967) In: M.Wagenschein: Naturphänomene sehen und verstehen, S.309-342
- Wagenschein, Martin:** Verstehen lehren (1968) Beltz Verlag, Weinheim und Basel (Zitate aus 9.Auflage)
- Wagenschein, Martin:** Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken, Band II (1970) Ernst Klett Verlag, Stuttgart

Wagenschein, Martin: Kinder auf dem Weg zur Physik (1973) Ernst Klett Verlag, Stuttgart. (Die Zitate stammen aus der Neuauflage bei Beltz Verlag, Weinheim und Basel, 1990)

Wagenschein, Martin: Rettet die Phänomene! (1975) in: Wagenschein: Erinnerungen für morgen, S.135-153

Wagenschein, Martin: Der Mond reist mit nach Ulm (1979) Nordbayrischer Kurier, 17./18.11.79

Wagenschein, Martin: Naturphänomene sehen und verstehen (1980) Klett-Verlag, Stuttgart 1980

Wagenschein, Martin: Erinnerungen für morgen (1983) Beltz Verlag, Weinheim und Basel (Zitate aus 2. ergänzten Auflage 1989)

Wagenschein, Martin: „Wenn unsere Gelehrten so fortarbeiten ...“ (1983) Scheidewege, Heft 13 (1983/84), S.155-161

Wagenschein, Martin: Die Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft (1986) Jonas-Verlag, Marburg

Wagenschein, Martin: Über das exemplarisch-genetische Lehren (1988) Video-Band; Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht, Grünwald

Wiechmann, Jürgen: Werkstücke der Lehrkunst aus erster Hand (1998) in: Praxis Schule 5-10, Heft 4/98

Wiechmann, Jürgen: Zwölf Unterrichtsmethoden (1999) Beltz Verlag, Weinheim und Basel

Williams, Leslie Pearce: Michael Faraday: a biography (1927) reprint by Da Capo paperback, New York 1965

Willmann, Otto: Sämtliche Werke (1901). Herausgegeben vom Scientia-Verlag, Aalen 1982

Zweig, Stefan: Magellan (1938) Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt 1983